

SÉRGIO KITAMURA

**ESTUDO EXPERIMENTAL SOBRE A INFLUÊNCIA DA SUBSTITUIÇÃO DO  
AGREGADO MIÚDO NATURAL POR GRANITO TRITURADO, NAS  
PROPRIEDADES DO CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND.**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal Fluminense como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil. Área de concentração: Tecnologia da Construção.

Orientador: Prof. FATHI AREF IBRAHIM DARWISH – Ph.D.

Co-Orientador: Prof. ROBSON LUIZ GAIOFATTO – D.Sc.

NITERÓI

2011

Ficha Catalográfica elaborada pela Biblioteca da Escola de Engenharia e Instituto de  
Computação da UFF

Kitamura, Sérgio.

Estudo Experimental sobre a influência da substituição do agregado miúdo natural por granito triturado, nas propriedades do concreto de cimento Portland / Sérgio Kitamura – Niterói,. RJ : [s.n.], 2011.

208 f.

Orientador: Fathi Aref Ibrahim Darwish e Robson Luiz Gaiofatto.

Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal Fluminense, 2011.

1. Concreto. 2. Concreto - Tecnologia. 3. Agregado (Material de construção). I. Título.

SÉRGIO KITAMURA

**ESTUDO EXPERIMENTAL SOBRE A INFLUÊNCIA DA SUBSTITUIÇÃO DO  
AGREGADO MIÚDO NATURAL POR GRANITO TRITURADO, NAS  
PROPRIEDADES DO CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND.**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal Fluminense como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil. Área de concentração: Tecnologia da Construção.

Aprovada em setembro de 2011

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Fathi Aref Ibrahim Darwish – Ph.D. – Orientador  
Universidade Federal Fluminense

---

Prof. Robson Luiz Gaiofatto – D.Sc. – Co-orientador  
Universidade Católica de Petrópolis

---

Prof. Orlando Celso Longo – D.Sc.  
Universidade Federal Fluminense

---

Prof. Luiz Carlos Mendes – D.Sc.  
Universidade Federal Fluminense

---

Prof<sup>a</sup>. Maria Teresa Gomes Barbosa – D.Sc.  
Universidade Federal de Juiz de Fora

NITERÓI

2011

À minha esposa Ilda, e aos meus filhos, Danilo e Daniel, sinceros  
agradecimentos por terem sempre me apoiado, incentivado e  
entendido alguns momentos de ausência para que este trabalho  
pudesse se tornar realidade.

Serei, para sempre, grato a vocês.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por ter me dado forças, para encarar e concluir mais este desafio .

Aos meus irmãos Clóvis e Cleide que me apoiaram em todos os momentos de dificuldade.

Ao Professor Fathi Aref Ibrahim Darwish que apostando em mim, me orientou, incentivou e transmitiu seus conhecimentos, experiências e conselhos.

Ao Professor Robson Luiz Gaiofatto que me orientou, incentivou e transmitiu seus conhecimentos, experiências e conselhos.

Ao Professor Luiz Carlos Mendes pelas sugestões apresentadas ao trabalho e por ter aceito participar da banca examinadora deste trabalho.

À Professora Maria Teresa Gomes Barbosa pelo incentivo, pelas sugestões apresentadas ao trabalho e por ter aceito participar da banca examinadora deste trabalho.

Ao Professor Orlando Celso Longo pelas sugestões apresentadas ao trabalho e por ter aceito participar da banca examinadora deste trabalho.

Ao meu irmão Clóvis pela ajuda na confecção de dispositivos acessórios para a realização de ensaios.

À amiga Professora Cláudia Valéria Gavio Coura pelo incentivo nos momentos difíceis e pela ajuda oferecida durante a realização do trabalho.

Ao Professor Geraldo Luciano pelo empréstimo de equipamento para trituração dos rejeitos de granitos.

Ao funcionário Máximo Pifano pela ajuda na confecção de moldes para a realização de ensaios.

Aos estagiários Higor, Carlos, Frederico, Iasdhan (in memoriam), Helio, Leandro e Adriano pela ajuda na realização dos ensaios.

À Bom Clima Pedras Decorativas, nas pessoas do Sr. Márcio e Rogério, pelo fornecimento de rejeitos de granitos.

À Poço Rico Mármore e Granitos Ltda. pelo fornecimento de rejeitos de granitos.

À Holcim do Brasil, representada pelo Srs. Anderson Silva Santos e Fabrício Carlos França pela gentileza no fornecimento de cimento Portland e de especificações dos cimentos para a pesquisa.

À Pedreira Santo Cristo, na pessoa do Sr. Flávio R. M. Silva, pela gentileza no fornecimento da brita de gnaiss para a realização deste trabalho.

Ao Sr. Márcio Eulélio da concreteira Concretomix pela ajuda no fornecimento de areia.

Ao Wesley e ao Professor Dr. Renato Camargo Matos do NUPIS da UFJF, pela ajuda na elaboração da solução de hidróxido de sódio.

E, finalmente, a todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para que este trabalho pudesse ser realizado.

## SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS .....	4
SUMÁRIO.....	6
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS.....	10
LISTA DE ILUSTRAÇÕES .....	13
LISTA DE TABELAS .....	15
RESUMO.....	18
ABSTRACT .....	19
1 INTRODUÇÃO .....	20
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	20
1.2 OBJETIVOS .....	22
<b>1.2.1 Objetivo geral .....</b>	<b>22</b>
<b>1.2.2 Objetivos específicos.....</b>	<b>22</b>
1.3 LIMITAÇÕES DA PESQUISA .....	23
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	23
2 A CONSTRUÇÃO CIVIL E O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL.....	25
2.1 MODELOS DE DESENVOLVIMENTO.....	25
2.2 CONSUMO DE RECURSOS NATURAIS .....	28
2.3 GERAÇÃO DE RESÍDUOS.....	29
2.4 CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS .....	31
2.5 APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS .....	33
3 ROCHAS ORNAMENTAIS.....	35
3.1 CARACTERIZAÇÃO E ORIGEM .....	35
3.2 PRODUÇÃO E BENEFICIAMENTO DE ROCHAS ORNAMENTAIS .....	40
<b>3.3.1 Mineração, extração e transporte .....</b>	<b>41</b>
<b>3.3.2 Desdobramento de blocos ou beneficiamento primário.....</b>	<b>45</b>
3.3.2.1 Corte com tear de lâminas .....	45
3.3.2.2 Corte com discos diamantados .....	48
3.3.2.3 Corte com fio diamantado .....	48
<b>3.3.3 Beneficiamento final ou secundário.....</b>	<b>49</b>
3.4 REJEITOS DO SETOR DE ROCHAS ORNAMENTAIS.....	50
<b>3.4.1 Considerações iniciais.....</b>	<b>50</b>
<b>3.4.2. Trabalhos com rejeitos de beneficiamento de rochas ornamentais.....</b>	<b>51</b>
4 AGREGADOS PARA CONCRETO .....	53
4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	53
4.2 CARACTERÍSTICAS DOS AGREGADOS QUE INFLUENCIAM NAS PROPRIEDADES DO CONCRETO.....	54
<b>4.2.1 Aderência do agregado.....</b>	<b>54</b>

<b>4.2.2 Dimensão máxima e distribuição granulométrica do agregado</b> .....	<b>55</b>
<b>4.2.3 Forma e textura das partículas do agregado</b> .....	<b>56</b>
<b>4.2.4 Porosidade, absorção e umidade superficial do agregado</b> .....	<b>63</b>
<b>4.2.5 Resistência do agregado</b> .....	<b>67</b>
<b>4.2.6 Substâncias deletérias no agregado</b> .....	<b>70</b>
4.2.6.1 Argila e outros materiais finos .....	70
4.2.6.2 Impurezas orgânicas .....	71
4.2.6.3 Partículas fracas ou não sãs .....	72
<b>4.3 CARACTERÍSTICAS QUE OS AGREGADOS DEVEM APRESENTAR PARA ATENDIMENTO DE ALGUNS PARÂMETROS DE DOSAGEM DOS CONCRETOS</b> .....	<b>73</b>
<b>4.4 REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO (RAA)</b> .....	<b>74</b>
<b>4.4.1 Considerações iniciais</b> .....	<b>74</b>
<b>4.4.2 Processamento da RAA</b> .....	<b>75</b>
<b>4.4.3 Reação álcali-sílica (RAS)</b> .....	<b>77</b>
<b>4.4.4 Reação álcali-silicato</b> .....	<b>77</b>
<b>4.4.5 Reação álcali-carbonato (RAC)</b> .....	<b>77</b>
<b>4.4.6 Fatores que podem influenciar a intensidade da RAA</b> .....	<b>78</b>
4.4.6.1 Teor de álcalis no concreto .....	78
4.4.6.2 Agregados .....	78
4.4.6.3 Condições ambientais .....	79
<b>4.4.7 Principais sintomas decorrentes de RAA</b> .....	<b>79</b>
<b>4.4.8 Tipos de estruturas de concreto mais suscetíveis à ocorrência de RAA</b> .	<b>80</b>
<b>4.4.9 Registros de alguns casos de medidas que evitaram a expansão provocada pela RAA (ANDRADE, 1997)</b> .....	<b>80</b>
4.4.9.1 Barragem de Jupia .....	80
4.4.9.2 Barragem de Água Vermelha .....	80
<b>4.4.10 Registros de alguns casos de ocorrência de danos provocados pela expansão decorrente de RAA (ANDRADE, 1997)</b> .....	<b>80</b>
4.4.10.1 Barragem de Moxotó (Usina hidroelétrica de Apolônio Sales) .....	80
4.4.10.2 Barragem de Joanes II .....	81
4.4.10.3 Barragem de Furnas.....	81
<b>5 PROGRAMA EXPERIMENTAL</b> .....	<b>83</b>
<b>5.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS</b> .....	<b>83</b>
<b>5.2 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS</b> .....	<b>84</b>
<b>5.2.1 Cimento</b> .....	<b>84</b>
<b>5.2.2 Agregado miúdo natural (AMN)</b> .....	<b>84</b>
<b>5.2.3 Agregado miúdo de rejeito de granito triturado (AMRGT)</b> .....	<b>85</b>
5.2.3.1 Considerações iniciais.....	85
5.2.3.2 Agregado miúdo de rejeito de granito 1 triturado (AMRG1T) .....	87
5.2.3.3 Agregado miúdo de rejeito de granito 2 triturado (AMRG2T) .....	90
5.2.3.4 Agregado miúdo de rejeito de granito 3 triturado (AMRG3T) .....	93
<b>5.2.4 Agregado graúdo</b> .....	<b>96</b>
<b>5.2.5 Água</b> .....	<b>97</b>
<b>5.3 TRAÇO UTILIZADO PARA OS CONCRETOS</b> .....	<b>98</b>
<b>5.4 MISTURAS DE CONCRETOS CONFECCIONADAS</b> .....	<b>98</b>
<b>5.5 AMOSTRAS E ENSAIOS REALIZADOS NA PESQUISA</b> .....	<b>99</b>
<b>5.6 PROPRIEDADES DO CONCRETO NO ESTADO FRESCO, AVALIADAS NA PESQUISA</b> .....	<b>100</b>



<b>5.6.1 Consistência</b> .....	<b>100</b>
<b>5.6.2 Exsudação</b> .....	<b>101</b>
5.7 PROPRIEDADES DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO, AVALIADAS NA PESQUISA .....	102
<b>5.7.1 Resistência à compressão axial simples</b> .....	<b>102</b>
<b>5.7.2 Resistência à tração por compressão diametral</b> .....	<b>103</b>
<b>5.7.3 Resistência à tração na flexão</b> .....	<b>105</b>
<b>5.7.4 Módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson</b> .....	<b>106</b>
<b>5.7.5 Absorção de água por imersão, índice de vazios e massa específica da amostra seca</b> .....	<b>109</b>
<b>5.7.6 Absorção de água por capilaridade</b> .....	<b>111</b>
<b>5.7.7 Retração hidráulica</b> .....	<b>111</b>
5.8 REATIVIDADE ÁLCALI-AGREGADO .....	112
6 RESULTADOS E ANÁLISES .....	115
6.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	115
6.2 ENSAIO DE CONSISTÊNCIA .....	115
6.3 ENSAIO DE EXSUDAÇÃO .....	118
6.4 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL SIMPLES .....	119
6.5 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL ..	124
6.6 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO .....	128
6.7 ENSAIO DE MÓDULO DE ELASTICIDADE E COEFICIENTE DE POISSON ..	131
6.8 ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA POR IMERSÃO E DE ÍNDICE DE VAZIOS .....	136
6.9 ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE .....	140
6.10 ENSAIO PARA DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DA AMOSTRA SECA .....	144
6.11 ENSAIO PARA DETERMINAÇÃO DA RETRAÇÃO HIDRÁULICA .....	146
6.12 ENSAIO DE REATIVIDADE ÁLCALI-AGREGADO .....	152
6.13 CORRELAÇÕES .....	155
<b>6.13.1 Resistência à compressão axial simples x resistência à tração por compressão diametral</b> .....	<b>155</b>
<b>6.13.2 Resistência à compressão axial simples x resistência à tração na flexão</b> .	<b>156</b>
<b>6.13.3 Resistência à compressão axial simples x módulo de elasticidade</b> .....	<b>156</b>
<b>6.13.4 Resistência à compressão axial simples x coeficiente de Poisson</b> .....	<b>157</b>
<b>6.13.5 Resistência à tração por compressão diametral x resistência à tração na flexão</b> .....	<b>157</b>
<b>6.13.6 Absorção de água por imersão x índice de vazios</b> .....	<b>158</b>
<b>6.13.7 Absorção de água por imersão x absorção de água por capilaridade</b> ..	<b>158</b>
7 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	160
7.1 CONCLUSÕES SOBRE AS PROPRIEDADES ESTUDADAS .....	160
7.1.1 Considerações iniciais .....	160
7.1.2 Consistência .....	160
7.1.3 Exsudação .....	161
7.1.4 Resistência à compressão axial simples e resistência à tração por compressão diametral .....	161
7.1.5 Resistência à tração na flexão .....	162
7.1.6 Módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson .....	163
7.1.7 Absorção de água por imersão e índice de vazios .....	163

<b>7.1.8 Absorção de água por capilaridade</b> .....	<b>164</b>
<b>7.1.9 Massa específica da amostra seca</b> .....	<b>165</b>
<b>7.1.10 Retração hidráulica</b> .....	<b>165</b>
<b>7.1.11 Reatividade álcali-agregado</b> .....	<b>166</b>
<b>7.2 CONCLUSÃO FINAL</b> .....	<b>166</b>
<b>7.3 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS</b> .....	<b>167</b>
<b>8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>168</b>
<b>9 BIBLIOGRAFIA CONSULTADA</b> .....	<b>179</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>181</b>

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

A	Absorção de água por imersão
ABIROCHAS	Associação Brasileira de Rochas Ornamentais
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACI	<i>American Concrete Institute</i>
AMN	Agregado miúdo natural (areia natural)
AMRGT	Agregado miúdo de rejeito de granito triturado
AMRGT's	Agregados miúdos de rejeitos de granitos triturados
AMRG1T	Agregado miúdo de rejeito de granito 1 triturado
AMRG2T	Agregado miúdo de rejeito de granito 2 triturado
AMRG3T	Agregado miúdo de rejeito de granito 3 triturado
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
BS	<i>British Standard</i>
C	Absorção de água por capilaridade
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CP	Corpo de prova
CP II E 32	Cimento Portland composto com escória de alto forno e com resistência mínima à compressão de 32 MPa, aos 28 dias
CV	Coefficiente de variação
$\Delta L$	Retração hidráulica
$\Delta L_3$	Retração hidráulica aos 3 dias de idade
$\Delta L_7$	Retração hidráulica aos 7 dias de idade
$\Delta L_{28}$	Retração hidráulica aos 28 dias de idade
$\Delta L_{56}$	Retração hidráulica aos 56 dias de idade
$\Delta L_{90}$	Retração hidráulica aos 90 dias de idade
$\Delta L_{180}$	Retração hidráulica aos 180 dias de idade
dm <sup>3</sup>	Decímetro cúbico

DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
$E_{ci}$	Módulo de elasticidade
$F_0$	Fator de Fisher calculado
$F_\alpha$	Fator de Fisher tabelado
$f_c$	Resistência à compressão axial
$f_{c3}$	Resistência à compressão axial aos 3 dias de idade
$f_{c7}$	Resistência à compressão axial aos 7 dias de idade
$f_{c28}$	Resistência à compressão axial aos 28 dias de idade
$f_{c90}$	Resistência à compressão axial aos 90 dias de idade
$f_{c120}$	Resistência à compressão axial aos 120 dias de idade
$f_t$	Resistência à tração por compressão diametral
$f_{t3}$	Resistência à tração por compressão diametral aos 3 dias de idade
$f_{t7}$	Resistência à tração por compressão diametral aos 7 dias de idade
$f_{t28}$	Resistência à tração por compressão diametral aos 28 dias de idade
$f_{t90}$	Resistência à tração por compressão diametral aos 90 dias de idade
$f_{t120}$	Resistência à tração por compressão diametral aos 120 dias de idade
$f_{ff}$	Resistência à tração na flexão
GO	Granulometria ótima
GPa	Giga Pascal
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
$I_v$	Índice de vazios
$\mu$	Coeficiente de Poisson
$\mu\text{m}$	Mícron
$\text{m}^3$	Metro cúbico
MG	Minas Gerais
mm	Milímetros
$\text{mm}^2$	Milímetros quadrados
MPa	Mega Pascal
N	Newton

N	Normal
NA	Natural da areia
NBR	Norma Brasileira Registrada
NM	Norma MERCOSUL
ONU	Organização das Nações Unidas
$\rho_s$	Massa específica da amostra seca
p.p.m.	Partes por milhão
RAA	Reação álcali-agregado
RAC	Reação álcali-carbonato
RAS	Reação álcali-sílica
RGT	Rejeito de granito triturado
RGT's	Rejeitos de granitos triturados
RG1T	Rejeito de granito 1 triturado
RG2T	Rejeito de granito 2 triturado
RG3T	Rejeito de granito 3 triturado

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1: Modelo de produção linear;	25
Figura 2.2: Ciclo de produção fechado;	28
Figura 3.1: Exemplar de granito destacando três de seus minerais	36
Figura 3.2: Forma de cristal de quartzo	37
Figura 3.3: Quartzo hialino	37
Figura 3.4: Microclina	38
Figura 3.5: Etapas e produtos principais na indústria de rochas ornamentais	41
Figura 3.6: Corte de granito com fio diamantado	42
Figura 3.7: Deslocamento de bloco utilizando máquina robusta	43
Figura 3.8: Carregamento de blocos utilizando “pau de carga”	44
Figura 3.9: Carregamento de blocos por meio de rampa	44
Figura 3.10: Carregamento de blocos utilizando de grua “derrick”	45
Figura 3.11: Lâminas de aço para corte de chapas de granito em tear	46
Figura 3.12: Granalha esférica de aço	46
Figura 3.13: Poço de recolhimento da polpa abrasiva	47
Figura 3.14: Fio diamantado	48
Figura 3.15: Corte de bloco no tear a fio diamantado	49
Figura 4.1: Formas das partículas	59
Figura 4.2: Partícula alongada (indesejável) à esquerda e partícula desejável para concreto à direita	60
Figura 4.3: Representação esquemática da umidade do agregado	65
Figura 4.4: Desenvolvimento da RAA	76
Figura 4.5: Ocorrência de RAA no pilar do vertedouro da barragem de Furnas	82
Figura 5.1: Rejeitos de granitos	85
Figura 5.2: Triturador com mandíbulas	86
Figura 5.3: Peneirador automático	86
Figura 5.4: Rejeitos de granitos triturados e peneirados	87
Figura 5.5: Granito Cinza Bressan	87
Figura 5.6: Granito Verde Labrador	91
Figura 5.7: Granito Marrom Graphite	94
Figura 5.8: Mecanismos de rupturas observados no ensaio de tração por compressão diametral	104
Figura 5.9: Aspecto da ruptura ocorrida no corpo de prova no ensaio de tração na flexão	106
Figura 5.10: Representação esquemática do módulo de deformação secante	106
Figura 5.11: Representação esquemática do módulo de elasticidade ou módulo de deformação tangente inicial ( $E_{ci}$ )	107

Figura 5.12: Ensaio para determinação do módulo de elasticidade e do coeficiente de Poisson.....	108
Figura 5.13: Comparador de comprimentos com a barra-padrão, molde de aço e pinos de aço inox utilizados no ensaio de RAA.....	113
Figura 5.14: Recipiente de aço inox contendo as barras de argamassa imersas em solução de hidróxido de sódio (1,0 N), no ensaio de RAA. ....	113
Figura 5.15: Recipientes contendo barras de argamassa imersas em solução de hidróxido de sódio (1,0 N) e colocados em estufa ventilada, a 80°C, no ensaio de RAA.....	114
Figura 5.16: Medição da expansão do comprimento da barra de argamassa, no ensaio de RAA. ....	114
Figura 6.1: Abatimentos das misturas estudadas.....	117
Figura 6.2: Exsudações das misturas estudadas.....	118
Figura 6.3: Resistência à compressão axial simples - mistura de referência x misturas contendo o AMRG1T. ....	121
Figura 6.4: Resistência à compressão axial simples - mistura de referência x misturas contendo o AMRG2T. ....	121
Figura 6.5: Resistência à compressão axial simples - mistura de referência x misturas contendo o AMRG3T. ....	122
Figura 6.6: Resistência à tração por compressão diametral - mistura de referência x misturas contendo o AMRG1T. ....	126
Figura 6.7: Resistência à tração por compressão diametral - mistura de referência x misturas contendo o AMRG2T. ....	126
Figura 6.8: Resistência à tração por compressão diametral - mistura de referência x misturas contendo o AMRG3T. ....	127
Figura 6.9: Resistência à tração na flexão das misturas estudadas.....	129
Figura 6.10: Corpo de prova de concreto contendo 100% de AMRG2T, rompido no ensaio de tração na flexão. ....	130
Figura 6.11: Módulo de elasticidade das misturas pesquisadas. ....	132
Figura 6.12: Coeficiente de Poisson das misturas pesquisadas. ....	134
Figura 6.13: Absorção de água por imersão das misturas pesquisadas. ....	137
Figura 6.14: Índice de vazios das misturas pesquisadas. ....	139
Figura 6.15: Absorção de água por capilaridade – mistura de referência x misturas contendo o AMRG1T.....	142
Figura 6.16: Absorção de água por capilaridade – mistura de referência x misturas contendo o AMRG2T.....	142
Figura 6.17: Absorção de água por capilaridade – mistura de referência x misturas contendo o AMRG3T.....	143
Figura 6.18: Massa específica da amostra seca das misturas pesquisadas.....	145
Figura 6.19: Retração hidráulica – mistura de referência x misturas contendo o AMRG1T. ....	149
Figura 6.20: Retração hidráulica – mistura de referência x misturas contendo o AMRG2T. ....	149
Figura 6.21: Retração hidráulica – mistura de referência x misturas contendo o AMRG3T. ....	150
Figura 6.22: Ensaio de RAA - Expansões médias das barras de argamassa contendo 100% de AMRG1T's. ....	154
Figura 6.23: Aspecto físico das barras de argamassa após a realização do ensaio de RAA pelo método acelerado.....	155

## LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1: Quantidade de rejeitos de construção civil gerados em algumas cidades brasileiras, do estado de São Paulo .....	30
TABELA 3.1: Origem das perdas na cadeia produtiva do setor de rochas ornamentais.....	50
TABELA 4.1: Classificação da forma de partículas, com exemplos.....	58
TABELA 4.2: Textura superficial dos agregados, com exemplos.....	62
TABELA 4.3: Porosidade de algumas rochas comuns.....	64
TABELA 4.4: Resistência à compressão de rochas americanas geralmente usadas como agregados de concreto .....	69
TABELA 4.5: Limites máximos aceitáveis de substâncias nocivas no agregado miúdo com relação à massa do material.....	71
TABELA 4.6: Limites máximos aceitáveis de substâncias nocivas no agregado graúdo com relação à massa do material .....	71
TABELA 4.7: Limites máximos aceitáveis de materiais carbonosos com relação à massa do material .....	72
TABELA 4.8: Sentido da evolução de diversos parâmetros da dosagem .....	74
TABELA 5.1: Caracterização física da areia (AMN).....	84
TABELA 5.2: Características do granito Cinza Bressan.....	88
TABELA 5.3: Caracterização física do AMRG1T na composição granulométrica idêntica ao AMN.....	89
TABELA 5.4: Caracterização física do AMRG1T na composição granulométrica ótima. ....	90
TABELA 5.5: Características do granito Verde Labrador.....	91
TABELA 5.6: Caracterização física do AMRG2T na composição granulométrica idêntica ao AMN.....	92
TABELA 5.7: Caracterização física do AMRG2T na composição granulométrica ótima. ....	93
TABELA 5.8: Características do granito Marrom Graphite.....	94
TABELA 5.9: Caracterização física do AMRG3T na composição granulométrica idêntica ao AMN.....	95
TABELA 5.10: Caracterização física do AMRG3T na composição granulométrica ótima. ....	96
TABELA 5.11: Caracterização física do agregado graúdo.....	97
TABELA 5.12: Misturas de concreto confeccionadas.....	98
TABELA 5.13: Parâmetros adotados para os ensaios realizados nas misturas da pesquisa.....	99



TABELA 5.14: Parâmetros adotados para os ensaios de reatividade álcali-agregado realizados na pesquisa.....	100
TABELA 6.1: Abatimentos médios encontrados nas misturas. ....	116
TABELA 6.2: Médias dos resultados individuais obtidos nos ensaios de resistência à compressão axial simples da mistura de referência e das misturas contendo diferentes teores de AMRG1T.....	119
TABELA 6.3: Médias dos resultados individuais obtidos nos ensaios de resistência à compressão axial simples da mistura de referência e das misturas contendo diferentes teores de AMRG2T.....	120
TABELA 6.4: Médias dos resultados individuais obtidos nos ensaios de resistência à compressão axial simples da mistura de referência e das misturas contendo diferentes teores de AMRG3T.....	120
TABELA 6.5: Valores de $F_0$ e $F_\alpha$ encontrados na análise estatística das médias dos resultados individuais dos ensaios de resistência à compressão axial, devido à influência do teor de AMRG1T. ....	123
TABELA 6.6: Médias dos resultados individuais obtidos nos ensaios de resistência à tração por compressão diametral da mistura de referência e das misturas contendo diferentes teores de AMRG1T.....	124
TABELA 6.7: Médias dos resultados individuais obtidos nos ensaios de resistência à tração por compressão diametral da mistura de referência e das misturas contendo diferentes teores de AMRG2T.....	125
TABELA 6.8: Médias dos resultados individuais obtidos nos ensaios de resistência à tração por compressão diametral da mistura de referência e das misturas contendo diferentes teores de AMRG3T.....	125
TABELA 6.9: Valores de $F_0$ e $F_\alpha$ encontrados na análise estatística das médias dos resultados individuais dos ensaios de resistência à tração por compressão diametral, devido à influência do teor de AMRG1T.....	128
TABELA 6.10: Médias dos resultados individuais obtidos nos ensaios de resistência à tração na flexão da mistura de referência e das misturas contendo diferentes teores de AMRG1T's. ....	129
TABELA 6.11: Valores de $F_0$ e $F_\alpha$ encontrados na análise estatística das médias dos resultados individuais dos ensaios de resistência à tração na flexão, devido à influência do teor e do tipo de AMRG1T. ....	131
TABELA 6.12: Médias dos resultados individuais obtidos para o módulo de elasticidade da mistura de referência e das misturas contendo diferentes teores de AMRG1T's. ....	132
TABELA 6.13: Valores de $F_0$ e $F_\alpha$ encontrados na análise estatística das médias dos resultados individuais obtidos nos ensaios de módulo de elasticidade, devido à influência do teor e do tipo de AMRG1T. ....	133
TABELA 6.14: Médias dos resultados individuais obtidos para o coeficiente de Poisson da mistura de referência e das misturas contendo diferentes teores de AMRG1T's. ....	134
TABELA 6.15: Valores de $F_0$ e $F_\alpha$ encontrados na análise estatística das médias dos resultados individuais dos ensaios para determinação do coeficiente de Poisson, devido à influência do teor e do tipo de AMRG1T.....	135
TABELA 6.16: Médias dos resultados individuais obtidos nos ensaios de absorção de água por imersão, das misturas pesquisadas. ....	136

TABELA 6.17: Valores de $F_0$ e $F_\alpha$ encontrados na análise estatística das médias dos resultados individuais dos ensaios de absorção de água por imersão, devido à influência do teor e do tipo de AMRGT. ....	138
TABELA 6.18: Médias dos resultados individuais obtidos nos ensaios, para a determinação do índice de vazios de cada uma das misturas pesquisadas. ....	138
TABELA 6.19: Valores de $F_0$ e $F_\alpha$ encontrados na análise estatística das médias dos resultados individuais dos ensaios para a determinação do índice de vazios, devido à influência do teor e do tipo de AMRGT. ....	140
TABELA 6.20: Médias dos resultados individuais obtidos nos ensaios de absorção de água por capilaridade, da mistura de referência e das misturas contendo diferentes teores de AMRG1T. ....	140
TABELA 6.21: Médias dos resultados individuais obtidos nos ensaios de absorção de água por capilaridade, da mistura de referência e das misturas contendo diferentes teores de AMRG2T. ....	141
TABELA 6.22: Médias dos resultados individuais obtidos nos ensaios de absorção de água por capilaridade, da mistura de referência e das misturas contendo diferentes teores de AMRG3T. ....	141
TABELA 6.23: Valores de $F_0$ e $F_\alpha$ obtidos com as médias dos resultados individuais dos ensaios de absorção de água por capilaridade, devido à influência do teor de AMRGT. ....	144
TABELA 6.24: Médias dos resultados individuais obtidos nos ensaios para a determinação da massa específica da amostra seca, das misturas pesquisadas. .	144
TABELA 6.25: Valores de $F_0$ e $F_\alpha$ encontrados na análise estatística das médias dos resultados individuais dos ensaios de massa específica da amostra seca, devido à influência do teor e do tipo de AMRGT. ....	146
TABELA 6.26: Médias dos resultados individuais obtidos no ensaio de retração hidráulica da mistura de referência e das misturas contendo diferentes teores de AMRG1T. ....	147
TABELA 6.27: Médias dos resultados individuais obtidos no ensaio de retração hidráulica da mistura de referência e das misturas contendo diferentes teores de AMRG2T. ....	148
TABELA 6.28: Médias dos resultados individuais obtidos no ensaio de retração hidráulica da mistura de referência e das misturas contendo diferentes teores de AMRG3T. ....	148
TABELA 6.29: Comparações entre as diferenças de retrações hidráulicas encontradas e os valores máximos estabelecidos pela NBR 6118 (ABNT, 2007). .	151
TABELA 6.30: Valores de $F_0$ e $F_\alpha$ encontrados na análise estatística das médias dos resultados individuais dos ensaios de retração hidráulica, devido à influência do teor de AMRGT. ....	152
TABELA 6.31: Médias das expansões dos comprimentos das barras de argamassa contendo 100% de AMRGT's. ....	153

## RESUMO

A sustentabilidade do nosso planeta depende de ações que visem, entre outras, a otimização na utilização dos recursos naturais disponíveis, principalmente reciclando rejeitos oriundos dos vários processos de produção. A areia natural, ainda hoje muito utilizada como agregado para concreto vem, cada vez mais, sofrendo sérias restrições à sua extração, principalmente dos órgãos de defesa do meio ambiente, devido aos danos provocados na natureza. Para contribuir na diminuição do impacto ambiental provocado pela extração desordenada da areia natural, este trabalho apresenta um estudo experimental sobre a utilização de rejeito de granito triturado como agregado miúdo em concreto de cimento Portland. O estudo consiste em verificar o comportamento de várias misturas, substituindo-se parcialmente e integralmente a areia natural por rejeito de granito triturado, avaliando várias propriedades do concreto no estado fresco e endurecido tais como: consistência, exsudação, resistência à compressão axial, resistência à tração por compressão diametral, resistência à tração na flexão, módulo de elasticidade, coeficiente de Poisson, absorção de água por imersão, índice de vazios, absorção de água por capilaridade, massa específica da amostra seca, retração hidráulica e reatividade álcali-agregado. Os resultados dos ensaios indicaram ser tecnicamente viável e vantajosa a utilização do rejeito de granito triturado.

Palavras chave: sustentabilidade; rejeito; granito; concreto.

## **ABSTRACT**

Our planet sustainability depends on actions which seek, among other factors, optimize the use of natural resources available, mainly, the waste recycling from several production processes. The natural sand, up to now, very used as aggregate of concrete is more and more under serious restrictions on its extraction by environmental defense organs, because of damage to the nature. So as to contribute to reduce the environmental impact caused by, natural sand extraction disarray, this work presents an experimental study about the use of crushed granite as fine aggregate in Portland cement concrete. This study consists in verify several mixtures behavior, partially and integrally replacing the natural sand by crushed granite waste, analyzing several concrete properties in fresh and hardened state such as: consistency, bleeding, compressive strength, tension strength by diametrical compression, tension strength in flexure, elasticity module, Poisson coefficient, water absorption by immersion, void ratio, water absorption by capillarity, dry sample specific gravity, hydraulic retraction and alkali reactivity of aggregates. The results obtained by essays for this work indicated to be technically viable and worthwhile the use of crushed granite waste.

Keywords: sustainability; waste; granite; concrete.

# **1 INTRODUÇÃO**

## **1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS**

A dependência dos recursos minerais pelo homem é muito antiga e significativa quando comparada a outros recursos da natureza. O consumo humano estimado por indivíduo, de insumos minerais é da ordem de 2.000 a 20.000 kg/ano, enquanto o do reino vegetal varia em torno de 400 a 500 kg/ano e, do reino animal entre 300 a 350 kg/ano (HERRMANN, 2002).

O setor da Construção Civil é um dos maiores consumidores de matérias-primas naturais sendo que os insumos minerais mais consumidos no mundo são utilizados como agregados nesse setor. No Brasil, em 2006, BUEST NETO (2006) menciona um consumo de agregados na ordem de 395 milhões de toneladas por ano.

Em 2007 a produção mundial de agregados para a construção civil alcançou 22,3 bilhões de toneladas com liderança destacada pela Ásia, responsável por 11,3 bilhões de toneladas. A produção brasileira de areia e brita atingiu o volume de 390 milhões de toneladas, sendo 231 milhões de toneladas de areia e 159 milhões de toneladas de brita o que representou 1,74% da produção mundial de agregados para a construção civil (REIS, 2008).

A urbanização crescente esteriliza importantes depósitos ou restringe a extração de recursos minerais constituindo o maior problema para aproveitamento das reservas existentes. Outro agravante é que os órgãos de fiscalização do meio ambiente, como o IBAMA, vêm coibindo a prática de extração desordenada de recursos minerais, principalmente da areia natural oriunda dos leitos dos rios, pois provoca danos ao meio ambiente como: a retirada da cobertura vegetal das

proximidades e a degradação dos cursos d'água (SILVA, 2006). REIS (2008) relata que o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) detectou que no ano de 2007, 70% da areia consumida no Brasil foi proveniente dos leitos dos rios, o que serve para se ter uma idéia do tamanho do impacto ambiental produzido.

Devido a esses fatores, novas áreas de extração estão cada vez mais distantes dos locais de consumo, encarecendo o preço final dos produtos.

Face ao exposto, materiais alternativos ecologicamente corretos são procurados de forma insistente e constante pela indústria da construção civil, que é uma das mais indicadas para consumir materiais reciclados (MOURA *et al.*, 2002). Segundo FERREIRA (2004) os rejeitos de materiais são resultantes do processo produtivo e não possuem valor comercial; já os subprodutos de materiais agregam valor ao negócio.

A incorporação de rejeitos na produção de materiais pode reduzir o consumo da energia que seria necessária para produzir o mesmo produto sem rejeitos e, pode também dependendo de onde esteja localizado o rejeito e seu mercado consumidor potencial, minimizar distâncias de transporte e contribuir para a diminuição da poluição gerada (GONÇALVES, 2000).

Na construção civil as rochas ornamentais (principalmente granitos e mármore) são largamente empregadas nas edificações como revestimento de paredes, pisos, bancadas de pias, etc. e, durante o beneficiamento, geram grande quantidade de rejeitos que são descartados quase sempre sem nenhuma preocupação com o meio ambiente.

De forma simplificada, o beneficiamento das rochas ornamentais é feito nas serrarias, transformando-se grandes blocos de pedra em chapas utilizando-se equipamentos denominados "teares". Ainda nas serrarias as chapas são polidas e posteriormente enviadas para as marmorarias que as preparam para o consumo final.

Nas serrarias, na operação de serragem, cerca de 30% a 40% do volume do bloco é transformado em material fino (rejeito). Mais perdas (de 10% a 20%) ocorrem sob a forma de retalhos gerados por peças quebradas, sobras, cortes inadequados, etc. (GOBBO *et al.*, 2004).

A produção brasileira de rochas ornamentais, de acordo com CHIODI FILHO (2008), foi de cerca de oito milhões de toneladas no ano de 2007, incluindo granitos, mármore, quartzitos, ardósias, pedra-sabão e outras. Os maiores estados produtores nacionais de rochas ornamentais são: Espírito Santo (cerca de 47%), Minas Gerais (cerca de 18%) e Bahia (cerca de 10%) (SPÍNOLA *et al.*, 2004).

ANDRADE e MOURA (2002) relatam que no Brasil são produzidos cerca de 240.000 toneladas de rejeitos, por ano, proveniente do beneficiamento de rochas ornamentais e ainda sem destinação adequada.

Face à grande quantidade de rejeitos, que são gerados durante o corte de rochas ornamentais, elaborou-se este trabalho visando estudar experimentalmente a viabilidade técnica de se utilizar retalhos de granitos (rejeitos) triturados em substituição, parcial e/ou total, ao agregado miúdo natural empregado no concreto de cimento Portland.

## 1.2 OBJETIVOS

Além do objetivo geral deste trabalho, objetivos específicos são relacionados a seguir.

### 1.2.1 Objetivo geral

Contribuir para diminuição do impacto ambiental provocado pela extração desordenada da areia natural, avaliando-se as propriedades tecnológicas dos concretos de cimento Portland confeccionados com a substituição parcial e/ou integral do agregado miúdo natural por agregado miúdo obtido por trituração de retalhos de granitos (rejeitos), fornecendo-se assim uma nova alternativa em termos de agregados para concreto.

### 1.2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos são necessários para se alcançar o objetivo geral e são os seguintes:

- a) caracterizar fisicamente o rejeito de granito triturado;

- b) atender de maneira satisfatória aos ensaios propostos e à normalização brasileira utilizando uma faixa granulométrica adequada para o rejeito de granito triturado;
- c) encontrar um teor otimizado para emprego do rejeito de granito triturado em concretos;
- d) determinar as características mecânicas (resistência à compressão axial, resistência à tração por compressão diametral, resistência à tração na flexão, módulo de elasticidade, coeficiente de Poisson, massa específica da amostra seca e retração hidráulica) e de durabilidade (índice de vazios, absorção de água por capilaridade, absorção de água por imersão e reatividade álcali-agregado) dos concretos estudados.

### 1.3 LIMITAÇÕES DA PESQUISA

A disponibilidade de laboratórios, equipamentos, recursos materiais, humanos e financeiros foram fatores preponderantes na escolha dos experimentos.

A fim de se evitar grande variabilidade nos resultados dos ensaios face à enorme variedade de granitos existentes com diferentes características, o estudo limita-se a utilizar teores definidos de apenas alguns deles encontrados com maior facilidade na região.

### 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho é constituído de nove capítulos conforme descrito a seguir.

O Capítulo 1 consta de uma introdução onde são apresentadas algumas considerações iniciais, os objetivos, as limitações da pesquisa e a estrutura do trabalho.

No Capítulo 2 é apresentada uma revisão bibliográfica sobre a contribuição do setor da Construção Civil no desenvolvimento sustentável destacando pontos importantes como modelos de desenvolvimento, consumo de recursos naturais, geração de resíduos, classificação dos resíduos, aproveitamento de resíduos e impactos da reciclagem.



Uma revisão bibliográfica sobre rochas ornamentais é apresentada no Capítulo 3, destacando-se aspectos importantes como caracterização e origem, participação dos estados brasileiros na produção e localização das principais jazidas, métodos e tecnologias para lavra e beneficiamento, perdas sob forma de rejeitos gerados nas etapas da cadeia produtiva e trabalhos desenvolvidos com rejeitos de rochas ornamentais.

A influência das características dos agregados, nas propriedades do concreto, é apresentada no Capítulo 4 destacando-se pontos essenciais como aderência do agregado, dimensão máxima e composição granulométrica, forma e textura, porosidade, absorção, umidade superficial, resistência, substâncias deletérias e reação álcali-agregado.

No Capítulo 5 é apresentado o programa experimental do trabalho onde encontram-se os materiais utilizados e a metodologia da pesquisa.

O Capítulo 6 apresenta os resultados obtidos nos experimentos bem como as suas análises e as relações entre as diversas propriedades estudadas.

As conclusões e as sugestões para trabalhos futuros são apresentadas no Capítulo 7.

O Capítulo 8 relaciona as obras citadas neste trabalho.

No Capítulo 9 são relacionadas as obras consultadas para a realização deste trabalho.

## 2 A CONSTRUÇÃO CIVIL E O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

### 2.1 MODELOS DE DESENVOLVIMENTO

O desenvolvimento desbravador está associado a um modelo linear de produção, ou seja, bens são concebidos, projetados, construídos, utilizados e, após sua vida útil, são acumulados no meio ambiente (no ar, na água ou nos depósitos de lixo) juntamente com os resíduos dos processos de produção. Nessa cultura industrial está implícita que a quantidade de recursos naturais disponíveis é, em termos práticos, infinita e que a natureza é capaz de absorver quantidades ilimitadas de resíduos. A Figura 2.1 ilustra o modelo de produção linear.

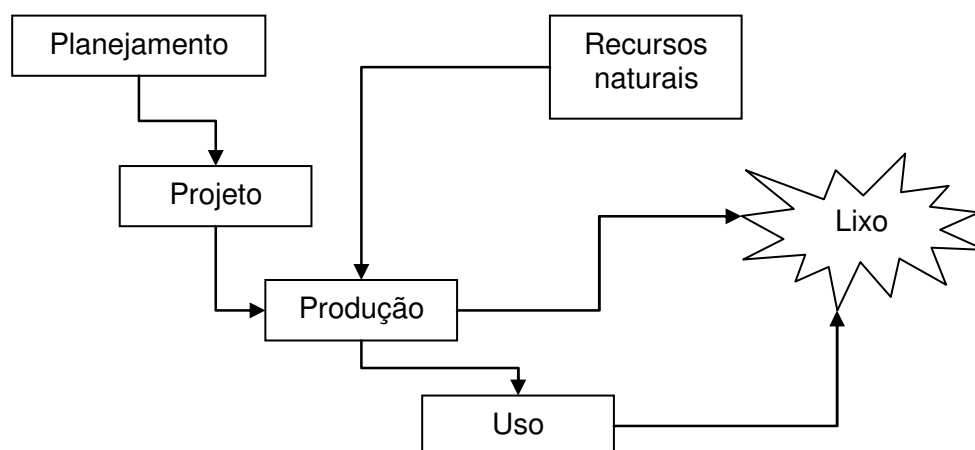


Figura 2.1: Modelo de produção linear;

Fonte: adaptação de JOHN (2000).

SCHENINI *et al.*(2004) relatam que a natureza era considerada, até a década de 50, somente como um “pano de fundo” em qualquer discussão que abordasse a atividade humana e suas relações com o meio.

No modelo ecológico a forma de produção linear não é questionada e tem-se uma visão de melhoria da qualidade ambiental como resultado do controle, ou seja, a preocupação com a deposição de resíduos industriais ou de pós-consumo concentra-se principalmente no desenvolvimento de técnicas de deposição adequadas e de remediação de locais e cursos d'água contaminados. Se os índices de poluição estiverem dentro dos limites estabelecidos, todos os processos industriais são praticamente aceitos. Estes limites levaram ao surgimento da engenharia especializada no tratamento de resíduos.

Na década de 80 houve um grande desenvolvimento econômico e técnico, em que valorizou-se o bem estar material independentemente dos prejuízos que o mesmo tivesse provocado à natureza durante o seu processo produtivo. Neste contexto, vários países se conscientizaram da necessidade de se adotar um modelo de desenvolvimento que minimizasse de fato os prejuízos ambientais.

O desenvolvimento sustentável considera um modelo de crescimento econômico menos consumista baseado no equilíbrio ecológico, sendo consolidado por meio da Agenda 21, entre os dias 3 a 14 de junho de 1992 na cidade do Rio de Janeiro. Na ocasião, representantes de quase todos os países se reuniram durante a Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (CNUMAD), mais conhecida pelos nomes ECO-92, Rio 92, Cúpula ou Cimeira da Terra, cujo objetivo principal era buscar meios de conciliar o desenvolvimento socioeconômico com a conservação e proteção dos ecossistemas da Terra (WILD, 2008).

A Agenda 21 enfatiza a necessidade de ampla participação social no processo de desenvolvimento sustentável aliada à educação ambiental, com ações coordenadas tanto do nível macro (global, regional, nacional, local, setores empresariais), como do nível micro (empresas e consumidores individuais) o que implicará não apenas em mudanças tecnológicas, mas também nas formas de relação entre nações e na cultura (ONU, 1992).

O princípio do desenvolvimento sustentável é uma melhor distribuição dos recursos econômicos da humanidade, tendo uma preocupação com a preservação da natureza. Os processos de produção devem economizar energia e não gerar

subprodutos perigosos, que podem colocar em risco o meio ambiente e os seres vivos (PENTTALA, 1997).

De acordo com CHEN e CHAMBERS (1999) o desenvolvimento sustentável é aquele que permite atender às necessidades básicas de toda a população e garante a todos a oportunidade de satisfazer suas aspirações para uma vida melhor sem, no entanto, comprometer a habilidade das gerações futuras em atenderem as suas próprias necessidades.

A concepção de desenvolvimento sustentável para a Engenharia Civil envolve o uso e a produção de materiais de elevado desempenho a custos razoáveis, com o menor impacto ambiental possível (BILODEAU e MALHOTRA, 2000).

Para um desenvolvimento sustentável adota-se um modelo de ciclo fechado ou modelo cíclico de produção e consumo em que há a otimização de todos os recursos utilizados sendo a geração de resíduos reduzida a um mínimo reciclável. Com isso, os produtos são projetados e construídos para apresentarem desempenho ambiental adequado durante a sua fase de utilização e para permitirem facilidades nas operações de reabilitação e reformas evitando assim, de serem lançados em aterros no final de suas vidas úteis. Os componentes desses produtos deverão ser projetados e construídos de forma que possam ser reutilizados em outros produtos e, somente quando isto não for mais possível, serão reciclados (JOHN, 2000). A Figura 2.2 ilustra uma adaptação do modelo de ciclo de produção fechado ao caso da construção civil.

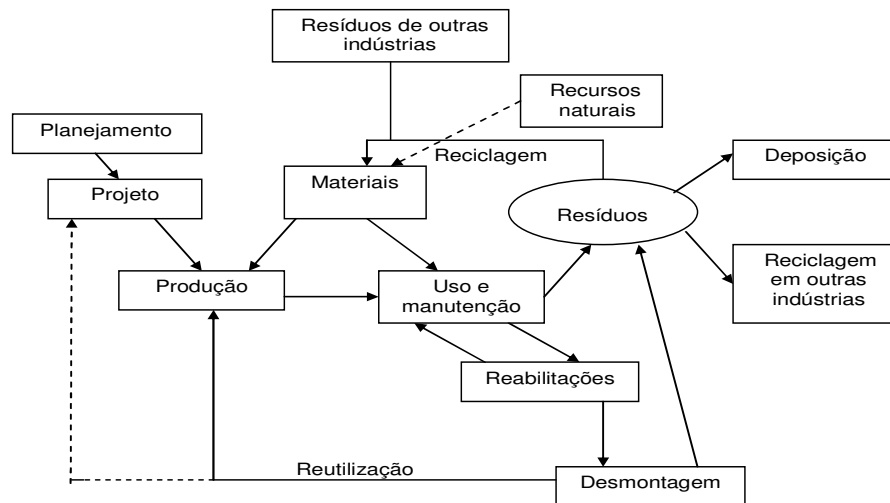


Figura 2.2: Ciclo de produção fechado;

Fonte: adaptação de JOHN (2000).

JOHN (2000) menciona que um novo modelo proposto de desenvolvimento sustentável com conceito ainda difuso, precisa ser definido de maneira mais objetiva, pois seu impacto na cultura, pesquisa, comércio e atividades produtivas já é uma realidade.

A cadeia produtiva da construção civil é provavelmente uma das maiores da economia e conseqüentemente gera enorme impacto ambiental. Portanto não será possível atingir um desenvolvimento sustentável sem que toda essa cadeia sofra transformações significativas, pois ela é uma das maiores geradoras de resíduos e de poluição ambiental e também uma das maiores consumidoras de energia e de recursos naturais (ANGULO e JOHN, 2002; JOHN, 2009).

## 2.2 CONSUMO DE RECURSOS NATURAIS

Estima-se que a construção civil consome de 15% a 50% dos recursos naturais extraídos, 16% da água potável, 40% da energia consumida e 66% de toda a madeira extraída (FINESTRA, 2007).

Países que demandam mais que sua biocapacidade (aquilo que seus ecossistemas são capazes de oferecer), tais com EUA e China, são caracterizados como “países devedores ecológicos”. Países que ainda possuem mais recursos ecológicos do que consomem, tal como o Brasil, são chamados de “países credores

ecológicos” e usualmente “exportam” sua biocapacidade para os devedores (WWF-Brasil, 2008).

Nos países não desenvolvidos é maior o desafio da construção civil de melhorar e ampliar o ambiente construído utilizando menores quantidades de recursos naturais, pois demanda a construção de maior quantidade de bens (JOHN, 2000).

### 2.3 GERAÇÃO DE RESÍDUOS

Em qualquer sociedade a quantidade de resíduos gerados supera a quantidade de bens produzidos, pois as sobras do processo de extração de matérias-primas e de produção de bens mais tudo o que nos cerca (casa, carros, móveis, aviões, etc.) e não tem mais utilidade, se transforma em resíduo (ROCHA e JOHN, 2003).

No processo atual de produção quase sempre são utilizadas matérias-primas não renováveis de origem natural sendo sempre gerados resíduos, seja para bens de consumo duráveis (edifícios, pontes e estradas) ou não duráveis (embalagens descartáveis). Devido à abundância de recursos naturais e de menor quantidade de pessoas incorporadas à sociedade de consumo, este modelo de produção até recentemente não apresentava problemas (JOHN, 2000).

PINTO (1999) estimou que em cidades brasileiras de médio e grande porte, a massa de rejeitos de construção civil variava entre 41% (quarenta e um por cento) a 70% (setenta por cento) da massa total de rejeitos sólidos urbanos. PINTO (2005) menciona que estudos realizados sobre a quantidade de rejeitos gerados em algumas cidades, encontraram os números mostrados na Tabela 2.1.

TABELA 2.1: Quantidade de rejeitos de construção civil gerados em algumas cidades brasileiras, do estado de São Paulo

MUNICÍPIO	FONTE	GERAÇÃO DIÁRIA (em t)	PARTICIPAÇÃO EM RELAÇÃO AOS REJEITOS SÓLIDOS URBANOS
São Paulo	I&T – 2003	17.240	55%
Guarulhos	I&T – 2001	1.308	50%
Diadema	I&T – 2001	458	57%
Campinas	PMC – 1996	1.800	64%
Piracicaba	I&T – 2001	620	67%
São José dos Campos	I&T – 1995	733	67%
Ribeirão Preto	I&T – 1995	1.043	70%
Jundiaí	I&T – 1997	712	62%
São José do Rio Preto	I&T – 1997	687	58%
Santo André	I&T – 1997	1.013	54%

Fonte: (PINTO, 2005).

Os rejeitos provenientes de eventos informais (obras de construção, reformas e demolições realizadas geralmente pelos próprios usuários de imóveis) representam cerca de 75% (setenta e cinco por cento) dos rejeitos gerados pela construção civil (PINTO, 2005).

Também é grande a quantidade de rejeitos gerados na produção de rochas ornamentais para a construção civil. Como exemplo, MOURA e GONÇALVES (2002) relatam que no Brasil a quantidade estimada da geração conjunta de rejeitos de corte de mármore e granito era de 240.000 toneladas por ano, distribuída entre Espírito Santo, Bahia, Ceará, Paraíba, entre outros estados.

Considerando-se o fator econômico NUNES *et al.* (2003b), relatam que a geração desordenada e a deposição final sem critérios ambientais podem ser identificadas como fontes de desperdício de insumos. Em condições adequadas, eles podem e devem ser reaproveitados, para diminuir o consumo dos recursos naturais e a necessidade de tratamento ou eliminação dos rejeitos, e reduzir os riscos gerados.

Devido à dimensão do problema da geração de rejeitos e a abrangência do impacto que a atividade da construção civil provoca no meio ambiente, é preciso que

a sociedade, em toda a sua plenitude, contribua para a busca de soluções que possibilitem o equilíbrio entre a economia e a sustentabilidade.

## 2.4 CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS

Considerando a crescente preocupação da sociedade com as questões ambientais e com o desenvolvimento sustentável, a ABNT visando fornecer subsídios para o gerenciamento da grande quantidade e tipos diferentes de resíduos sólidos gerados por inúmeros processos de produção, introduziu a norma NBR 10004 (2004) - Resíduos Sólidos – Classificação, com a qual classifica os resíduos em função de suas propriedades físicas, químicas ou infecto-contagiosas, que podem apresentar riscos à saúde pública e/ou ao meio ambiente, conforme a seguir:

- a) resíduos classe I – perigosos – apresenta riscos à saúde pública (provocando ou acentuando o índice de mortalidade ou incidência de doenças), riscos ao meio ambiente (quando o resíduo é manuseado ou destinado de forma inadequada), ou apresenta características como inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, que estão definidas nesta norma;
- b) resíduos classe II – não perigosos – são divididos em duas subclasses, a saber:

- I. resíduos classe II A – não inertes – aqueles que não se enquadram nas classificações de resíduos classe I – perigosos ou de classe II B – inertes, podem ter as propriedades de biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água;

- II. resíduos classe II B – inertes – aqueles que, quando submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou desionizada, à temperatura ambiente, conforme a NBR 10006 (ABNT, 2004), não solubiliza seus constituintes a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se: o aspecto, a cor, a turbidez, a dureza e o sabor.

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2002) por meio da sua Resolução nº 307 de 5 de julho de 2002, estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil adotando, dentre outras, as seguintes definições:



- resíduos de construção civil – provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, bem como os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, como tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, etc., comumente chamados de entulhos de obras;
- agregado reciclado – é o material granular proveniente do beneficiamento de resíduos de construção que apresentem características técnicas para a aplicação em obras de edificação, de infra-estrutura, em aterros sanitários ou outras obras de engenharia;
- reutilização – é o processo de reaplicação de um resíduo, sem transformação do mesmo;
- reciclagem – é o processo de reaproveitamento de um resíduo, após ter sido submetido à transformação, devendo-se considerar todas as características do resíduo e, principalmente, seu risco ambiental, para que o desenvolvimento dos novos produtos tenha um bom desempenho e uma maior aceitação por parte dos consumidores;
- beneficiamento – é o ato de submeter um resíduo a operações e/ou processos que tenham por objetivo dotá-los de condições para que sejam utilizados como matéria-prima ou produto.

Essa mesma resolução classifica os resíduos da construção civil da seguinte forma:

- I. classe A – são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como:
  - a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem;
  - b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento, etc.), argamassa e concreto;

c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios-fios, etc.) produzidas nos canteiros de obras.

II. classe B – são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel/papelão, metais, vidros, madeiras e outros;

III. classe C – são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem/recuperação, tais como os produtos oriundos do gesso;

IV. classe D – são os resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como: tintas, solventes, óleos e outros, ou aqueles contaminados oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros.

## 2.5 APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS

Conforme relatam LEVY e HELENE (2002) a preocupação com os resíduos gerados é antiga, pois há registros de aproveitamento de resíduos minerais desde a época das construções das cidades do Império Romano.

Nos Estados Unidos já existe desde o final da década de 60, uma política para a gestão de resíduos (JOHN e AGOPYAN, 2006), mas no Brasil ainda se discute uma legislação mais abrangente sobre o tema.

ROCHA e CHERIAF (2003) relatam que a falta de soluções tecnológicas apropriadas e de instalações adequadas à eliminação dos resíduos faz a indústria de transformação passar por grandes dificuldades na disposição final dos resíduos gerados em seus processos produtivos, causando sérios problemas ambientais e crescentes incrementos nos custos industriais. Logo, o desenvolvimento tecnológico de processos associados à reciclagem de produtos industriais passa a ter enorme relevância. O aproveitamento adequado de resíduos, ou de subprodutos industriais, como matéria-prima secundária deve envolver: um completo conhecimento do processo, as unidades de geração dos resíduos, a caracterização completa dos resíduos e identificação do potencial de aproveitamento relacionando as características limitantes do uso e da aplicação.

Verifica-se atualmente na construção civil, uma conscientização quanto ao esgotamento dos recursos não-renováveis utilizados ao longo de toda a sua cadeia produtiva, observando-se uma preocupação crescente com a diminuição dos custos e dos prejuízos devido ao desperdício de materiais. A indústria da construção civil é uma grande consumidora de resíduos provenientes de outras indústrias como a indústria cimenteira que recicla escória de alto-forno, cinzas volantes, pneus, etc. (YAMAMOTO, 1997).

Programas visando o aproveitamento de resíduos de construção devem ser implantados pelas prefeituras brasileiras, iniciando com um levantamento da produção desses resíduos no município e estimando os custos diretos e indiretos causados pela deposição irregular. Com base nestas informações será possível determinar a tecnologia a ser empregada, os investimentos necessários e a aplicação dos resíduos reciclados (AMBIENTE BRASIL, 2009).

Cidades brasileiras como Salvador, Ribeirão Preto e Belo Horizonte, agem ativamente na reciclagem de rejeitos de construção (PINTO, 1999). Em 2002, as estações de reciclagem de rejeitos de construção localizadas em Belo Horizonte, já processavam duas mil toneladas de entulho por mês produzindo 122.618 toneladas de material britado durante esse ano, para utilização na construção civil (CIDADES DO BRASIL, 2003).

Com o desenvolvimento da consciência do setor em relação aos problemas ambientais que o cercam, tem-se hoje um consenso da necessidade de desenvolvimento de materiais e processos construtivos que não causem danos ao homem e ao meio ambiente. Devem ser aprimoradas formas de minimização de geração de rejeitos durante as diversas etapas da construção e, quando possível, a introdução de rejeitos no próprio processo ou na unidade de serviço onde este foi gerado (ROCHA e CHERIAF, 2003).

### 3 ROCHAS ORNAMENTAIS

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO E ORIGEM

As rochas ornamentais e de revestimento, abrangem os tipos litológicos que podem ser extraídos em blocos ou placas, cortados em formas variadas e beneficiados por meio de esquadreamento, polimento, lustro, etc. São também designadas pedras naturais, rochas lapídeas, rochas dimensionais e materiais de cantaria. Seus principais campos de aplicação incluem tanto peças isoladas, como esculturas, tampos e pés de mesa, balcões, lápides e arte funerária em geral, quanto edificações, destacando-se, nesse caso, os revestimentos internos e externos de paredes, pisos, pilares, colunas, soleiras, etc. ([http://www.abirochas.com.br/rochas\\_ornamentais\\_01.php](http://www.abirochas.com.br/rochas_ornamentais_01.php)).

São consideradas como rochas ornamentais: o granito, o mármore, o quartzito, o arenito, entre outros. Porém, para efeito comercial, são generalizadas como granito, todas as rochas com alta resistência ao desgaste (GONÇALVES, 2000). Do ponto de vista econômico, o granito e o mármore são considerados como as rochas ornamentais mais importantes, pois respondem por 90% (SPÍNOLA *et al.*, 2004) da produção mundial. Neste capítulo será dada maior ênfase a comentários sobre o granito que é o material principal, objeto de estudo deste trabalho.

O granito é uma rocha ígnea intrusiva que resultou da consolidação devida ao resfriamento de magma totalmente ou parcialmente derretido (<http://pt.wikipedia.org/wiki/Granito>) sendo, em geral, encontrado na natureza em forma de maciço rochoso. Em sua composição mineralógica, é constituído essencialmente por quartzo e feldspatos, tendo como minerais característicos frequentes as micas (moscovita e/ou biotita), anfibólios (sobretudo hornblenda),

piroxenas (augita e hiperstenio) e olivina. Alguns desses constituintes podem estar ausentes em determinadas associações mineralógicas, anotando-se diversos outros minerais acessórios em proporções bem mais reduzidas ([http://www.abirochas.com.br/rochas\\_ornamentais\\_02\\_1.php](http://www.abirochas.com.br/rochas_ornamentais_02_1.php)). Na Figura 3.1 encontra-se em destaque alguns dos minerais constituintes do granito.



Figura 3.1: Exemplo de granito destacando três de seus minerais

Fonte: (LAMA, 2009).

De acordo com PENHA et al., (1996), os granitos e quartzitos colocam-se no grupo de materiais de elevado componente silicoso ou seja, de elevado teor de compostos de sílica hidratada.

Um exemplo de sílica cristalina pura é o quartzo ( $\text{SiO}_2$ ) que é o mais importante dos minerais do grupo dos silicatos. É um dos minerais mais resistentes aos habituais agentes de intemperismo, tais como a água e a variação de temperatura. Macroscopicamente são facilmente identificáveis, pois os seus cristais apresentam a forma de um prisma hexagonal tendo, nas suas bases, pirâmides hexagonais, tal como ilustra a Figura 3.2 (CAPUTO, 1988).

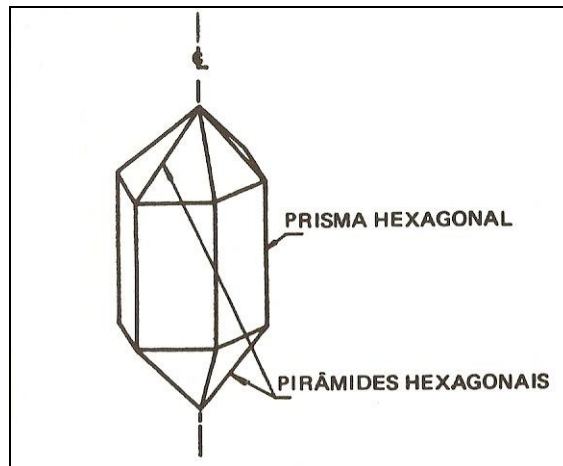


Figura 3.2: Forma de cristal de quartzo

Fonte: (CAPUTO, 1988).

O quartzo é um dos minerais mais abundantes na crosta terrestre apresentando muitas variedades na sua coloração, tais como o cristal de rocha ou quartzo hialino (incolor e transparente, usado na fabricação de lentes), quartzo de ametista (de cor roxa), quartzo citrino (de cor amarela, também conhecido como falso topázio), etc. (GONÇALVES, 2000). A Figura 3.3 ilustra uma rocha de quartzo hialino.



Figura 3.3: Quartzo hialino

Fonte: (<http://pt.wikipedia.org/wiki/Quartzo>).

Na construção civil o quartzo é utilizado como agregado fino (areia) e no artesanato é utilizado na confecção de jóias baratas, cinzeiros, colares, pulseiras, pequenas esculturas, objetos ornamentais e enfeites, etc. É utilizado também na

fabricação de esmaltes, saponáceos, dentifrícios, abrasivos, lixas, fibras ópticas, refratários, cerâmica, produtos eletrônicos, relógios, instrumentos ópticos, vasilhas químicas (<http://pt.wikipedia.org/wiki/Quartzo>). O quartzo pulverizado é matéria prima para a fabricação de vidro (GONÇALVES, 2000) tal como o feldspato.

O feldspato é o mineral predominante no granito e alguns de seus minerais (microclina, ortoclásio e plagioclásios), são os principais balizadores do padrão cromático das rochas silicáticas, conferindo as colorações avermelhada, rosada e creme-acinzentada nos granitos ([http://www.abirochas.com.br/rochas\\_ornamentais\\_02\\_1.php](http://www.abirochas.com.br/rochas_ornamentais_02_1.php)).

A família dos feldspatos divide-se em três grupos principais (<http://pt.wikipedia.org/wiki/Feldspato>):

- a) feldspatos potássicos ou alcalinos: constituídos de minerais tais como ortoclásio, sanidina, anortoclase e microclina;
- b) plagioclásios ou feldspatos calcossódicos: constituídos de minerais tais como albita, oligoclasio, andesina, labradorita, bytownita e anortita;
- c) outros feldspatos: constituídos de minerais tais como celsiana, paracelsiana, sviatoslavita e dmisteinbergita.

A Figura 3.4 ilustra o mineral microclina presente nos feldspatos potássicos.



Figura 3.4: Microclina

Fonte: (<http://pt.wikipedia.org/wiki/Feldspato>).

CAPUTO (1988) menciona que sob a ação dos agentes da natureza o feldspato sofre decomposição mais ou menos acentuada como a ação da água carregada de CO<sub>2</sub> em que é característica a sua alteração em argila branca denominada caulim.

Devido ao seu teor de álcalis e alumina, os feldspatos possuem numerosas aplicações na indústria tais como: no fabrico de vidros (sobretudo feldspatos potássicos que reduzem a temperatura de fusão do quartzo, ajudando a controlar a viscosidade do vidro), no fabrico de cerâmicas (são o segundo ingrediente mais importante depois das argilas, pois aumentam a resistência e durabilidade das cerâmicas), como material de incorporação em tintas, plásticos e borrachas (devido à sua boa dispersibilidade, por serem quimicamente inertes, apresentarem pH estável, alta resistência à abrasão e congelamento e pelo seu índice de refração), produtos vidrados (louça sanitária, louça de cozinha, porcelanas para aplicações elétricas), etc. (<http://pt.wikipedia.org/wiki/Feldspato>).

A mica é um mineral que apresenta uma alta resistência dielétrica, excelente estabilidade química, sendo por isso o material preferido para a confecção de capacitores para aplicações de rádio-frequência. É também resistente ao calor substituindo o vidro em locais de temperaturas mais altas (<http://pt.wikipedia.org/wiki/Mica>). Aparece no granito em forma de pequenas lâminas brilhantes. Dentre as várias cores de mica, as mais conhecidas são a moscovita (mica branca) e a biotita (mica preta).

O anfibólio é um silicato hidratado de Fe, Mg, ou Ca, podendo ter óxido de alumínio. O anfibólio mais comum é a hornblenda (silicato hidratado de Fe e Mg) (<http://www.meioambiente.pro.br/arpoador/rochas.html>).

Nos granitos, a cor negra variavelmente impregnada na matriz é conferida pelos minerais máficos (silicatos ferromagnesianos), sobretudo anfibólio (hornblenda) e mica (biotita), chamados vulgarmente de “carvão”. Nos granitos mais leucocráticos (claros), o quartzo e o feldspato compõem normalmente entre 85% e 95% da rocha, portanto com menor quantidade de minerais ferromagnesianos ([http://www.abirochas.com.br/rochas\\_ornamentais\\_02\\_1.php](http://www.abirochas.com.br/rochas_ornamentais_02_1.php)).



### 3.2 PRODUÇÃO E BENEFICIAMENTO DE ROCHAS ORNAMENTAIS

Desde a Roma antiga até hoje, pouco se tem a acrescentar em relação à exploração para uso do mármore e do granito, exceto no que se refere aos equipamentos utilizados para extraí-los e beneficiá-los (BIGNO, 2002).

O beneficiamento de rochas ornamentais refere-se ao desdobramento de materiais brutos, extraídos nas pedreiras em forma de blocos ou, em alguns casos (quartzitos e ardósias) como placas. Os blocos, com dimensões normalmente variáveis de 5 m<sup>3</sup> a 10 m<sup>3</sup>, são beneficiados sobretudo por meio da serragem (processo de corte) em chapas, por teares e talha-blocos, para posterior acabamento e esquadreamento até sua dimensão final ([http://www.abirochas.com.br/rochas\\_ornamentais\\_04.php](http://www.abirochas.com.br/rochas_ornamentais_04.php)).

A indústria de rochas ornamentais é composta pelos segmentos de mineração, serraria e marmoraria sendo que muitas empresas trabalham atuando em mais de um desses segmentos. A Figura 3.5 ilustra a segmentação do setor, bem como os produtos mais importantes e as principais áreas de aplicação das rochas ornamentais.

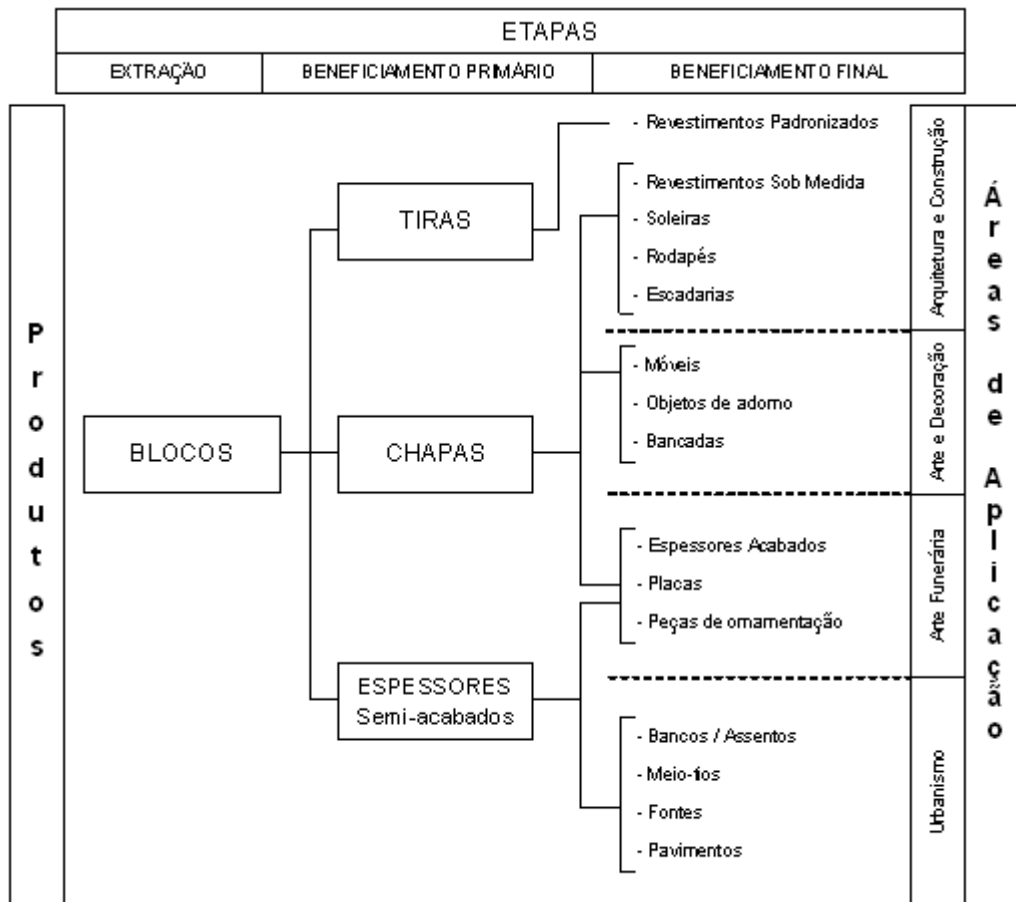


Figura 3.5: Etapas e produtos principais na indústria de rochas ornamentais

Fonte: (ALENCAR, 1996).

### 3.3.1 Mineração, extração e transporte

A mineração consiste na pesquisa e lavra (extração) da rocha que é executada após todos os estudos e ensaios para se obter blocos com padrões definidos. No caso de mármore e granitos os blocos têm a forma de paralelepípedo com dimensões adequadas para transformação em chapas por meio dos teares nas serrarias (BIGNO, 2002).

REIS e SOUZA (2003) relatam que as jazidas de rochas ornamentais podem ser lavradas em maciços rochosos e em matacões, utilizando-se métodos e técnicas que possibilitam resultados satisfatórios em termos da relação custo/benefício. É de fundamental importância a determinação do método de lavra correto, para a condução adequada dos trabalhos de planejamento e de execução da lavra em uma

pedreira de rochas ornamentais Na fase de definição do método, um erro poderá significar custos de produção excessivamente altos e menor vida útil da pedreira.

As alternativas operacionais dos métodos de lavra são aprimoradas pelo desenvolvimento tecnológico em função da morfologia da jazida, das reservas, das características (mineralógicas, petrográficas e estruturais da rocha), da infraestrutura local, do valor de mercado do produto e da dimensão do projeto em termos de escala de financiamento (BIGNO, 2002).

ALENCAR (1996) salienta que as tecnologias existentes apresentam as seguintes características:

- a) cíclicas: utilizam processos de desmonte por desmoronamento, corte por perfuração e explosivo, perfuração contínua, divisão por agentes expansivos e divisão mecânica utilizando cunhas;
- b) corte contínuo: por meio de fio helicoidal, “flame-jet” ou maçarico e cortador de corrente;
- c) modernas de corte: com fio diamantado (Figura 3.6), cortadora à corrente diamantada e jato de água (“waterjet”).



Figura 3.6: Corte de granito com fio diamantado

Fonte: (CARANASSIOS e VIDAL, 2006).

O afeiçoamento ou esquadrejamento preliminar dos blocos, por meio de equipamentos monolâmina ou com fios, otimiza a serrada posterior nos teares, possibilitando uma padronização nas dimensões dos blocos, melhor acoplamento ou

rejuntamento (chumbamento) dos blocos, maior produtividade por m<sup>3</sup> e menor produção de rejeitos (cascões) derivados da serragem ([http://www.abirochas.com.br/rochas\\_ornamentais\\_04\\_1.php](http://www.abirochas.com.br/rochas_ornamentais_04_1.php)).

O deslocamento dos blocos, desde o local de esquadrejamento até a saída da pedreira, requer o uso de equipamentos e máquinas específicas, tais como guincho de arraste, pás carregadeiras, retroescavadeiras, etc. A Figura 3.7 ilustra o deslocamento de blocos por meio de equipamento mecânico.



Figura 3.7: Deslocamento de bloco utilizando máquina robusta

Fonte: (CARANASSIOS e VIDAL, 2006).

Para o carregamento dos blocos em caminhões de transporte, utilizam-se tecnologias tais como: “pau de carga”, rampas e grua “derrick” (CARANASSIOS e VIDAL, 2006). As Figuras 3.8, 3.9 e 3.10 ilustram essas tecnologias.



Figura 3.8: Carregamento de blocos utilizando “pau de carga”

Fonte: (CARANASSIOS e VIDAL, 2006).



Figura 3.9: Carregamento de blocos por meio de rampa

Fonte: (CARANASSIOS e VIDAL, 2006).



Figura 3.10: Carregamento de blocos utilizando de grua “derrick”

Fonte: (CARANASSIOS e VIDAL, 2006).

Após o carregamento em caminhões, os blocos são transportados até as empresas para o seu desdobramento.

### **3.3.2 Desdobramento de blocos ou beneficiamento primário**

O desdobramento ou beneficiamento primário consiste na serragem do bloco para transformá-lo em chapas com espessuras requeridas. Para esse beneficiamento existem basicamente três métodos ou tecnologias: o corte com tear de lâminas, o corte com discos diamantados e o corte com fio diamantado (ALENCAR, 1996).

#### **3.3.2.1 Corte com tear de lâminas**

De acordo com ALENCAR (1996) o tear de lâminas pode ser utilizado independentemente do tipo de material a ser processado sendo o mais amplamente difundido, sobretudo por conjugar alguns fatores como: maior flexibilidade produtiva (proporciona ampla gama de produtos finais a partir das chapas), elevada produtividade, custo relativamente mais reduzido, além de uma boa relação custo-benefício do investimento inicial. As lâminas utilizadas no tear podem ser de aço (Figura 3.11) com uso de granalha abrasiva de ferro fundido ou aço (Figura 3.12) ou diamantada.



Figura 3.11: Lâminas de aço para corte de chapas de granito em tear

Fonte: (<http://corteblocos.blogspot.com/2007/09/lminas.html>).



Figura 3.12: Granalha esférica de aço

Fonte: (<http://corteblocos.blogspot.com/2007/09/fios-diamantados-granalha-e-lminas-para.html>).

No tear com lâminas de aço, o processo de corte se dá devido à ação conjunta do elemento abrasivo (polpa abrasiva) com os movimentos alternados de compressão e depressão das lâminas sobre o bloco gerando desagregação dos cristais do mesmo. A polpa abrasiva é composta basicamente de água, granalha, cal

e rocha moída e tem também as finalidades de lubrificar e esfriar as lâminas de serragem, evitar a oxidação das lâminas e limpar os canais entre as chapas. Após a passagem pelo tear, a polpa percorre um circuito fechado, pois é conduzida para um poço de recolhimento e, por bombeamento, é enviada para o tear formando uma chuva abrasiva que se distribui nas lâminas e blocos para, novamente, auxiliar na serragem (GONÇALVES, 2000). A Figura 3.13 ilustra o poço de recolhimento localizado na parte inferior do tear.



Figura 3.13: Poço de recolhimento da polpa abrasiva

Fonte: ([http://www.sinto.com.br/pt/granalha/corte\\_granito.htm](http://www.sinto.com.br/pt/granalha/corte_granito.htm)).

Nos teares com lâminas de aço a velocidade de avanço do corte no mármore situa-se em torno de 20 a 30 cm por hora e no granito em torno de 2 cm por hora ([http://www.abirochas.com.br/rochas\\_ornamentais\\_04\\_1.php](http://www.abirochas.com.br/rochas_ornamentais_04_1.php)).

Durante a serragem é gerada uma lama proveniente da polpa abrasiva que, após passar pelos teares, segue para tanques de decantação onde a água é reaproveitada e o material sólido é retirado e depositado nos pátios das empresas (GONÇALVES, 2000).

ALENCAR (1996) salienta que nos teares com lâminas diamantadas o corte é realizado devido à ação abrasiva de segmentos ou pastilhas de diamantes incrustadas no gume inferior das lâminas, formando uma espécie de serra. Por isso, a velocidade de avanço do corte nos teares com lâminas diamantadas pode chegar a 60 cm por hora nos mármore e 4 cm por hora nos granitos ([http://www.abirochas.com.br/rochas\\_ornamentais\\_04\\_1.php](http://www.abirochas.com.br/rochas_ornamentais_04_1.php)).



### 3.3.2.2 Corte com discos diamantados

Segundo ALENCAR (1996) os discos diamantados com seus movimentos de rotação e translação do mandril, onde os mesmos estão fixados, conseguem executar os cortes devido ao atrito entre segmentos sinterizados com grãos de diamante, fixados na borda de ataque do disco, e o bloco do material a ser cortado.

Os discos diamantados são encontrados nos equipamentos de serragem denominados talha-blocos que são capazes de executar cortes de grandes profundidades, necessários na fabricação de produtos com fins mais específicos tais como lajotas padronizadas. Para cortes mais rasos, equipamentos denominados talha-chapas, que também possuem discos diamantados, são muito utilizados nas marmorarias ([http://www.abirochas.com.br/rochas\\_ornamentais\\_04\\_2.php](http://www.abirochas.com.br/rochas_ornamentais_04_2.php)).

### 3.3.2.3 Corte com fio diamantado

O corte com fio diamantado ocorre devido à ação abrasiva dos anéis ou pérolas de diamantes dispostos ao longo do fio que gira a uma determinada velocidade e é tensionado sobre o bloco, funcionando como uma serra fita (ALENCAR, 1996). As Figuras 3.14 e 3.15 ilustram, respectivamente, o fio diamantado e o corte do bloco com fio diamantado.



Figura 3.14: Fio diamantado.

Fonte:

(<http://www.cepolina.com/imagemgratis/f/Outros.objectos.tecnologia/Fio.diamantado.BG.jpg>)

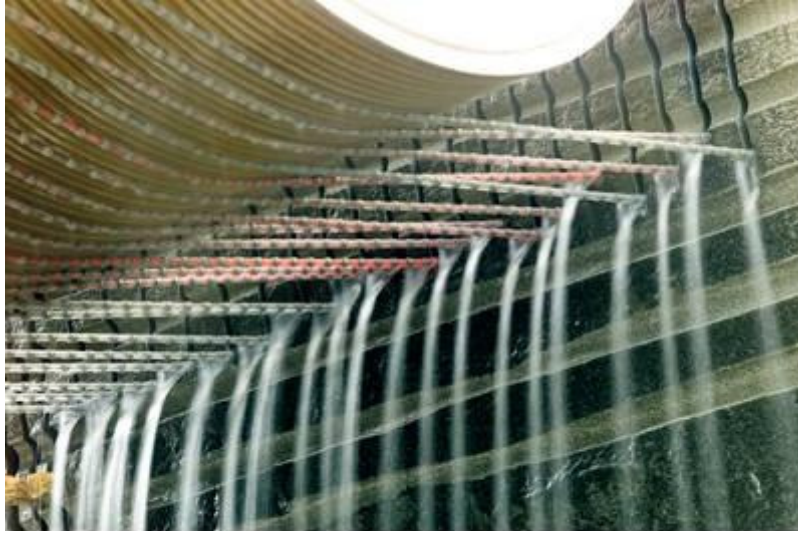


Figura 3.15: Corte de bloco no tear a fio diamantado

Fonte: (<http://www.marble.com.br/article/articleview/1324/1/47/>).

### 3.3.3 Beneficiamento final ou secundário

O beneficiamento final ou secundário é executado após o corte do bloco e consiste no preparo das superfícies das chapas. De acordo com o uso previsto, as superfícies recebem tratamentos com a finalidade de realçar as características necessárias conforme a seguir ([http://www.abirochas.com.br/rochas\\_ornamentais\\_04\\_3.php](http://www.abirochas.com.br/rochas_ornamentais_04_3.php)):

- a) apicoamento ou jateamento: utilizando martelo e ponteira ou jatos de areia, são feitos pequenos furos na peça deixando a superfície rugosa e antiderrapante;
- b) levigamento ou desbaste: consiste no desengrossamento das chapas por meio de abrasivos de granulometria grossa obtendo-se superfícies planares, paralelas e ásperas;
- c) polimento: produz o desbaste fino da chapa e o fechamento dos grãos minerais, criando uma superfície lisa, opaca e mais impermeável que a de uma face natural da mesma rocha;
- d) lustro: é aplicado com a finalidade de se imprimir brilho à superfície da chapa, produzido pelo espelhamento das faces dos cristais constituintes da rocha. O índice de brilho exigível pelos consumidores deve ser igual ou

superior a 70 pontos avaliados na escala dos aparelhos medidores de brilho;

- e) flameamento: a superfície da rocha é aquecida com chama de acetileno provocando a dilatação dos minerais que a compõe, tornando-a antiderrapante e com rugosidade uniforme.

### 3.4 REJEITOS DO SETOR DE ROCHAS ORNAMENTAIS

#### 3.4.1 Considerações iniciais

Todas as três etapas da cadeia produtiva do setor de rochas ornamentais são geradoras de rejeitos sob diferentes formas e intensidades. VILASCHI e SABADINE (2000) relatam que os percentuais médios de desperdícios são da ordem de: 40% na extração, 25% no beneficiamento primário e 10% no beneficiamento secundário. Salientam ainda que a origem das perdas ocorre conforme indicado na Tabela 3.1.

TABELA 3.1: Origem das perdas na cadeia produtiva do setor de rochas ornamentais

ETAPAS DA CADEIA PRODUTIVA	ORIGEM DAS PERDAS
EXTRAÇÃO	<ul style="list-style-type: none"> <li>• blocos com dimensões não padronizadas;</li> <li>• cacos de pedra e pó.</li> </ul>
BENEFICIAMENTO PRIMÁRIO (SERRARIA)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• lama abrasiva;</li> <li>• imperfeições dos casqueiros (laterais dos blocos);</li> <li>• quebras de placa por falhas no empilhamento;</li> <li>• serragem de placas defeituosas.</li> </ul>
BENEFICIAMENTO SECUNDÁRIO (MARMORARIA)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• corte dos ladrilhos.</li> </ul>

Fonte: (VILASCHI e SABADINE, 2000).

As perdas, na forma de retalhos de pedra, na extração e nas serrarias são em torno de 10 a 20% dos volumes processados e nas marmorarias, em média, 20% do volume de chapas trabalhadas (GOBBO et al., 2004). Essas perdas constituídas de sobras e peças quebradas podem ser britadas e trituradas tornando-se passíveis de serem utilizadas em substituição às areias extraídas dos rios na elaboração de concretos de cimento Portland. Essa reciclagem poderá ser uma alternativa viável e certamente contribuirá para minimizar o impacto ambiental causado pela extração desordenada das areias dos rios.

Este trabalho foi elaborado face ao grande volume de rejeitos de granitos gerados sob a forma de retalhos, com formatos e tamanhos variados, em todas as etapas da cadeia produtiva de rochas ornamentais e também devido à ausência de trabalhos específicos sobre a viabilidade técnica do aproveitamento do rejeito de granito triturado em substituição à areia natural utilizada na confecção de concretos de cimento Portland.

#### **3.4.2. Trabalhos com rejeitos de beneficiamento de rochas ornamentais**

Diversos trabalhos foram realizados utilizando rejeitos de rochas ornamentais. Alguns desses trabalhos, desenvolvidos para o setor da Construção Civil, são citados a seguir.

A viabilidade técnica da utilização do rejeito da serragem e/ou do polimento de granito em argamassas, tijolos de solo-cimento, tijolos cerâmicos e matéria-prima cerâmica foi constatada por CALMON *et al.* (1997, 1998), NEVES *et al.* (1999, 2000), BARROTE (2000) e NEVES (2002).

O rejeito de corte de granito (em pó) foi utilizado, por GONÇALVES (2000), como adição, para a produção de concretos. Foi constatado que o uso do rejeito é viável tecnicamente.

Alguns estudos sobre a utilização de rejeitos de corte de granitos e mármore para confecção de lajotas para piso e execução de aterros foram realizados por MOURA *et al.* (2002).

PONTES e STELLIN JÚNIOR (2001) estudaram o aproveitamento de rejeitos finos de serrarias de mármore e granitos, para utilização nas indústrias da

construção civil e cerâmica, visando a produção de blocos estruturais e revestimento cerâmico.

A viabilidade da utilização de rejeitos de rochas ornamentais em concretos de cimento Portland, foi comprovada por MENEZES *et al.* (2002), GONÇALVES *et al.* (2002) e BIGNO (2002).

O aproveitamento de rejeito de corte e polimento do granito, em misturas cerâmicas, foi pesquisado por XAVIER *et al.* (2003), VIEIRA *et al.* (2003) e NUNES *et al.* (2003a).

MOREIRA *et al.* (2003) obtiveram sucesso utilizando o rejeito do corte e polimento do granito em cerâmica vermelha.

Melhorias nas propriedades mecânicas do concreto foram obtidas por LISBÔA (2004) em seu trabalho intitulado “Obtenção do concreto autoadensável utilizando rejeito do beneficiamento do mármore e granito e estudo de propriedades mecânicas”.

LISBÔA *et al.* (2004) obtiveram sucesso utilizando rejeito da serragem de blocos de granito para a obtenção de pastas e argamassas altamente fluídas utilizadas em concretos auto-adensáveis.

Resultados promissores foram encontrados nos estudos de MOREIRA *et al.* (2005), MOTHÉ FILHO *et al.* (2005), PONTES e VIDAL (2005), PONTES e STELLIN JÚNIOR (2005) sobre o uso do rejeito do beneficiamento de mármore e granitos em aplicações industriais na Construção Civil (indústria cerâmica, blocos estruturais, piso para pavimentação e argamassas).

Resultados que satisfazem os métodos de misturas asfálticas preconizadas pelo DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes) foram encontrados por SOUZA *et al.* (2006) no estudo sobre a utilização dos rejeitos provenientes da serragem de rochas graníticas como material de enchimento em concretos asfálticos usinados a quente.

COURA (2009) realizou um estudo experimental sobre o aproveitamento de retalhos (rejeitos) de mármore em substituição ao agregado miúdo utilizado em concreto de cimento Portland. Concluiu que o agregado de mármore substitui com vantagens o agregado natural e o artificial estudados.

## **4 AGREGADOS PARA CONCRETO**

### **4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS**

Os agregados são utilizados, no concreto, com as finalidades de minimizar o custo (quanto mais agregado menor a quantidade de cimento) e proporcionar vantagens técnicas consideráveis como maior estabilidade dimensional e melhor durabilidade em relação à pasta de cimento pura (NEVILLE, 1997). Também proporcionam benefícios, ao concreto, diminuindo a retração e elevando a resistência ao desgaste (PETRUCCI, 1987 e SILVA, 1995).

São frequentemente, por questões econômicas, considerados como materiais inertes de enchimento, sendo negligenciada a influência de suas características nas propriedades do concreto. Na verdade, os agregados não são inertes e suas propriedades físicas, térmicas e, às vezes, químicas exercem influência no desempenho do concreto.

Aproximadamente 75% do volume total do concreto é ocupado pelos agregados e por isso exercem considerável importância em várias propriedades do mesmo. Agregados com características indesejáveis podem produzir um concreto com pouca resistência mecânica, comprometendo a sua durabilidade e o seu desempenho estrutural (NEVILLE, 1997) além de afetar a sua estabilidade dimensional (SILVA, 1995).

## 4.2 CARACTERÍSTICAS DOS AGREGADOS QUE INFLUENCIAM NAS PROPRIEDADES DO CONCRETO

### 4.2.1 Aderência do agregado

A aderência entre o agregado e a pasta de cimento depende da textura superficial do agregado que refere-se ao grau de rugosidade ou de irregularidade das superfícies de suas partículas. Para uma dada trabalhabilidade, partículas lisas requerem menos água na mistura e, portanto menos material cimentício para um determinado fator água cimento. Entretanto, essas partículas têm menor área superficial, do que as partículas mais rugosas, para aderir à pasta de cimento (ACI – E1-07, 2007).

Partículas britadas possuem superfícies mais ásperas e apresentam melhor aderência devido ao intertravamento mecânico com partículas mais moles, porosas e mineralogicamente heterogêneas. A aderência entre o agregado e a pasta de cimento é importante para a resistência do concreto, especialmente para a resistência à flexão (NEVILLE, 1997).

A aderência do agregado é também influenciada por outras de suas propriedades físicas e químicas, relacionadas com a composição química e mineralógica, bem como de sua condição eletrostática de superfície. Por exemplo, pode existir algum tipo de aderência química no caso do calcário, da dolomita e, possivelmente, dos agregados silicosos sendo que na superfície de partículas polidas podem se desenvolver forças capilares, (NEVILLE 1997). Contudo, pouco se sabe ainda sobre estes fenômenos. Para se ter uma boa aderência, em qualquer hipótese, é condição necessária que a superfície do agregado esteja limpa e livre de partículas de argila aderentes.

A determinação da qualidade da aderência do agregado é um tanto difícil e não existem ensaios para esse fim. Em geral a aderência é considerada satisfatória quando um corpo de prova apresentar algumas partículas de agregado rompidas, além de outras, mais numerosas, arrancadas de seu alojamento na pasta. Entretanto, um excesso de partículas rompidas pode indicar que o agregado é muito fraco (PINHEIRO, 2003).

É importante analisar a interface entre o agregado e a pasta de cimento que o

envolve, pelo menos porque o agregado significa uma descontinuidade, dando origem a um efeito de parede. A região da interface é rica em partículas mais finas de cimento e apresenta uma relação água/cimento maior do que outras partes da pasta (NEVILLE, 1997).

#### **4.2.2 Dimensão máxima e distribuição granulométrica do agregado**

A norma NBR 7211 (ABNT, 2009) define como dimensão máxima característica do agregado a “grandeza associada à distribuição granulométrica do agregado, correspondente à abertura nominal, em milímetros, da malha da peneira da série normal ou intermediária na qual o agregado apresenta uma porcentagem retida acumulada igual ou imediatamente inferior a 5% em massa”.

Geralmente, para uma dada relação água/cimento, quanto maior a dimensão máxima do agregado menor a área superficial por unidade de volume que deve ser coberta pela pasta de cimento com conseqüente diminuição da quantidade de cimento utilizado. Como o cimento é mais caro do que o agregado, a utilização de agregado com maior dimensão máxima pode acarretar um benefício econômico desde que não haja prejuízos significativos para a resistência e para a trabalhabilidade do concreto.

NEVILLE (1997) menciona que quanto maior a partícula de agregado, menor a área superficial por unidade de massa a ser molhada. Assim, aumentando-se a granulometria do agregado, diminui-se a demanda de água (reduz-se o fator água/cimento) para uma trabalhabilidade especificada acarretando aumento da resistência. Entretanto, em misturas ricas, resultados experimentais mostram que o aumento de resistência devido à menor demanda de água é superado pelos efeitos prejudiciais de uma menor área de aderência (de modo que as variações volumétricas resultam elevadas tensões nas interfaces) e descontinuidades introduzidas por partículas muito grandes.

O efeito adverso do aumento do tamanho máximo do agregado é notado em todos os tamanhos, mas para tamanhos menores do que 38,1 mm predomina o efeito sobre a demanda de água. Para tamanhos maiores, o balanço dos dois efeitos depende do teor de cimento da mistura. Assim, existe um tamanho ótimo de agregado para cada valor de resistência de concreto, ou seja, para cada valor da



relação água/cimento. Para um concreto pobre (por exemplo, 165 kg de cimento por m<sup>3</sup>) é vantajoso o uso de agregado de 150 mm enquanto que para concretos estruturais, com proporções usuais, do ponto de vista da resistência, não há vantagem em se usar agregado com tamanho máximo maior do que 25 mm ou 40 mm (NEVILLE, 1997).

Quanto maior a dimensão máxima característica do agregado, menor a resistência do concreto utilizando-se as mesmas quantidades dos demais componentes. Esta redução na resistência do concreto é tanto maior quanto menor a relação água/cimento (SOUZA COUTINHO, 1999 e COURA, 2006).

ILLSTON e SPON (1994) relatam que mantendo-se a relação água/cimento constante e aumentando-se a quantidade de agregado no concreto, a resistência aumenta desde que haja quantidade de pasta de cimento suficiente para preencher os vazios deixados pelos agregados miúdos e graúdos permitindo uma consolidação completa do concreto.

A distribuição granulométrica ou granulometria do agregado que é a representação do proporcionamento das partículas segundo as suas dimensões, afeta também as propriedades do concreto.

Segundo PINHEIRO (2003) a razão mais importante para a especificação de limites granulométricos e da dimensão máxima dos agregados é a influência dos mesmos na trabalhabilidade e no custo do concreto. Por exemplo, areias muito grossas produzem misturas de concreto ásperas e não trabalháveis, e areias muito finas aumentam o consumo de água além de serem antieconômicas.

HEWLETT (1998) salienta que se o agregado apresentar partículas distribuídas uniformemente por todas as dimensões e se tiverem formas adequadas será possível obter um concreto com boa trabalhabilidade, com baixo risco de segregação, compacto e resistente com um teor mínimo de cimento.

#### **4.2.3 Forma e textura das partículas do agregado**

MEHTA e MONTEIRO (2008) salientam que a forma e textura superficial são características externas do agregado e influenciam mais nas propriedades do concreto no estado fresco do que no estado endurecido.

A modificação da forma das partículas do agregado afeta o ângulo de atrito interno entre as mesmas alterando as propriedades do concreto no estado fresco que dependem da água de amassamento tais como a trabalhabilidade e a compacidade (COUTINHO, 1973).

De acordo com as suas características geométricas os agregados podem apresentar as seguintes formas: arredondadas, angulosas, alongadas e achatadas. As partículas quando atritadas vão perdendo os vértices e arestas e tendem a ficar arredondadas. Partículas provenientes de rochas britadas possuem arestas e vértices bem definidos e são consideradas angulosas. Partículas alongadas são aquelas que apresentam o comprimento bem maior do que as outras dimensões. Quando a partícula apresenta espessura pequena em relação às outras dimensões, são chamadas de lamelares ou achatadas. Fragmentos alongados e achatados são encontrados nos calcários estratificados, arenitos e folhelos (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

NEVILLE (1997) menciona que o arredondamento representa a agudeza ou a angulosidade das arestas ou cantos de uma partícula e depende muito da resistência da rocha-mãe e das ações de desgaste a que a partícula foi submetida. A forma da partícula, em caso de agregado britado, depende da natureza do mineral de origem, do tipo de britador e da sua relação de redução, isto é, da relação entre os tamanhos de material que entra e sai do britador. Uma classificação prática e abrangente de arredondamento é mostrada na Tabela 4.1.

TABELA 4.1: Classificação da forma de partículas, com exemplos.

<b>Classificação</b>	<b>Descrição</b>	<b>Exemplos</b>
Arredondado	Completamente erodido pela água ou pelo atrito	Seixo de rio ou de praia, areia de rio ou deserto
Irregular	Naturalmente irregular ou parcialmente desgastado por atrito, com cantos arredondados.	Outros seixos, opalas.
Lamelar	Material em que a espessura é pequena em relação às outras dimensões	Rochas laminadas
Anguloso	Possuem arestas bem definidas formadas pela interseção de faces relativamente planas	Pedras britadas em geral
Alongado	Geralmente anguloso, em que o comprimento é bem maior do que as outras dimensões.	
Discóide	Comprimento muito maior do que a largura e largura muito maior do que a espessura	

Fonte: (NEVILLE, 1997)

O volume de vazios no concreto tem influência sobre a sua massa específica e à medida que aumenta a proporção de agregados arredondados, a porcentagem de vazios decresce.

Partículas angulosas de agregado miúdo, sem dúvida, exercem influência sobre as propriedades do concreto, pois exigem mais água para uma mesma trabalhabilidade.

O grau de adensamento das partículas de tamanho único depende da forma das mesmas e, por isso a angulosidade do agregado pode ser calculada a partir da proporção de vazios em uma amostra compactada segundo um método estabelecido. O número de angulosidade, que mede a porcentagem de vazios a mais em relação à porcentagem de vazios do seixo mais arredondado, é obtido subtraindo-se de 67 a porcentagem de volume de sólidos em um recipiente preenchido com agregado segundo um procedimento estabelecido. Na prática esse número está, geralmente, entre zero e 11, sendo que tanto mais anguloso será o agregado quanto maior for esse número (NEVILLE, 1997).

Outra maneira de medir a angulosidade do agregado, tanto graúdo como miúdo, desde que de tamanho único, é por meio do fator de angulosidade definido como a relação entre o volume de sólidos do agregado solto (sem adensamento

para se evitar o erro de operador) e o volume de sólidos de esferas de vidro com uma granulometria especificada (NEVILLE, 1997).

POOLE e SIMS (1998) sugerem a utilização dos parâmetros esfericidade e curvatura para caracterizar a forma dos grãos do agregado sendo a esfericidade (ou área específica volumétrica) a relação entre a área superficial das partículas e o seu volume e a curvatura a relação entre o raio médio das extremidades e os limites do raio de circunferência máxima inscrita de cada partícula, conforme ilustra a Figura 4.1.

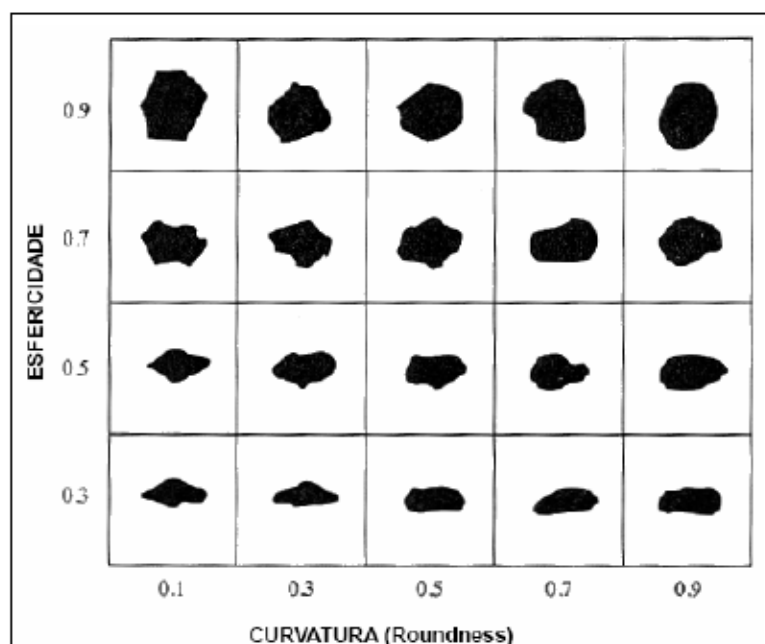


Figura 4.1: Formas das partículas

Fonte: (POOLE e SIMS, 1998).

Em geral, partículas de elevada esfericidade, porém angulosas (com baixo valor do parâmetro de curvatura), são as ideais para a produção de concretos em comparação às partículas lamelares e alongadas (POOLE e SIMS, 1998).

Uma partícula é considerada lamelar quando sua espessura (menor dimensão) é menor do que 0,6 vezes a sua dimensão nominal (média das aberturas das peneiras limites da fração ao qual a partícula pertence). Entretanto, se o comprimento (maior dimensão) for igual ou superior a 1,8 vezes a sua dimensão nominal, ela é considerada alongada. O índice de lamelaridade corresponde à relação da massa das partículas lamelares pela massa da amostra enquanto o

índice de alongamento corresponde ao quociente da massa das partículas alongadas pela massa da amostra (BUEST NETO, 2006).

A forma equidimensional das partículas do agregado graúdo é preferível em relação às formas alongadas e lamelares, pois estas últimas têm maior área superficial e se acomodam de modo anisotrópico (NEVILLE, 1997). A Figura 4.2 ilustra partículas com forma alongada e equidimensional.

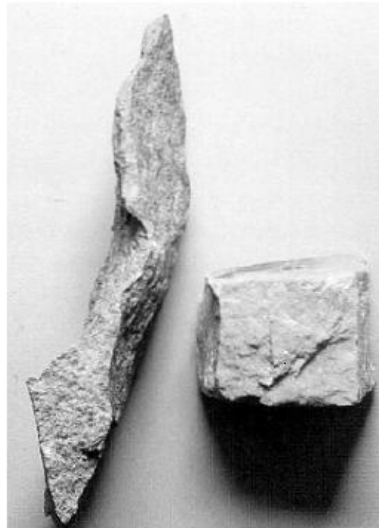


Figura 4.2: Partícula alongada (indesejável) à esquerda e partícula desejável para concreto à direita

Fonte: (POOLE e SIMS, 1998).

Partículas alongadas e lamelares devem ser evitadas no concreto, pois aumentam a área específica e o consumo de pasta de cimento no concreto (POOLE e SIMS, 1998). NEVILLE (1997) salienta que a presença de mais de 10% ou 15%, em massa, de partículas alongadas no agregado graúdo, é considerada indesejável no concreto. Já MARCONDES (2009) relata que a presença de mais de 15% de partículas alongadas e lamelares no agregado graúdo é considerada indesejável, no concreto, por alguns pesquisadores.

Partículas lamelares podem prejudicar a durabilidade do concreto, pois tendem a se orientar segundo um plano, com a água de exsudação e bolhas de ar se acumulando sob elas (NEVILLE, 1997). De acordo com MARCONDES (2009) além da durabilidade, a resistência também é prejudicada.

Segundo SILVA (1995) os agregados de forma lamelar exigem maior quantidade de argamassa, pois são difíceis de serem misturados e manuseados. Por isso, DÍAZ (1997) relata que os agregados de forma lamelar necessitam quantidade muito maior de areia, em relação àquela necessária para o método baseado na granulometria ideal, com conseqüente aumento da quantidade de água.

Além de prejudicar a trabalhabilidade, partículas lamelares provocam maior segregação do concreto durante o seu transporte e lançamento sendo necessário, em lançamentos bombeados, aumentar o teor de argamassa para não forçar o dispositivo de bombeamento, implicando em maior consumo de cimento com conseqüente aumento do custo de produção (MARCONDES, 2009).

A utilização de agregados contendo partículas lamelares pode aumentar a permeabilidade do concreto se houver a formação de ninhos de concretagem e a diminuição da aderência da pasta de cimento com o agregado, devido à maior dificuldade de adensamento (SILVA, 1995).

NEVILLE (1997) relata que o limite para o índice de lameralidade do agregado graúdo constituído por seixo rolado natural é de 50% e para agregado graúdo britado ou parcialmente britado é de 40%. Para superfícies expostas a desgaste, são necessários índices inferiores a esses.

O índice de forma do agregado graúdo pode ser determinado utilizando-se procedimento preconizado pela NBR 7809 (ABNT, 2008). O valor desse índice, recomendado pela NBR 7211 (ABNT, 2009), não deve ser superior a três.

A textura superficial do agregado depende da dureza, da granulação e das características dos poros da rocha-mãe (as rochas duras, densas e com granulação fina, geralmente apresentam superfícies de fratura lisas) bem como do grau com que as forças atuantes nas superfícies, como as forças de atrito, as tenham tornado lisas ou ásperas. Rochas britadas como granito, calcário e basalto apresentam textura áspera. Pedra-pomes, escória expandida e cinza volante apresentam textura celular com poros visíveis (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

De acordo com o grau (polidas, opacas, lisas ou ásperas) com que as superfícies das partículas se apresentam, pode-se fazer uma classificação das mesmas quanto à textura superficial. Geralmente é confiável uma avaliação visual

da aspereza ou, para minimizar erros, a adoção de uma classificação conforme indicada na Tabela 4.2 (NEVILLE, 1997).

TABELA 4.2: Textura superficial dos agregados, com exemplos

<b>Grupo</b>	<b>Textura</b>	<b>Característica</b>	<b>Exemplos</b>
1	Vítrea	Fratura conchoidal	Calcedônia, escória vitrificada
2	Lisa	Erodido por água, ou devido à fratura de cristais finos ou laminares	Seixo, ardósia, mármore, alguns riólitos
3	Granulosa	Fratura mostrando grãos uniformes mais ou menos arredondados	Arenito, oólito
4	Áspera	Fratura áspera de rochas finas ou grosseiramente granuladas com cristais não facilmente visíveis	Basalto, felsito, calcário
5	Cristalina	Com constituintes cristalinos facilmente visíveis	Granito, gabro, gnaisse
6	Alveolar	Com poros e cavidades visíveis	Tijolo, pedra pomes, espuma de escória, clínquer, argila expandida

Fonte: (NEVILLE, 1997).

De acordo com NEVILLE (1997), a forma e a textura afetam, significativamente, na demanda de água da mistura e, especialmente no caso de agregado miúdo, a textura superficial influencia sobre a sua aderência à pasta de cimento.

A textura áspera aumenta a aderência do agregado à pasta de cimento devido a um intertravamento mecânico, entre eles, pela ação de forças de natureza físico-química. Esta vantagem é reduzida, mas não totalmente, em caso de concreto fresco, pois a textura áspera do agregado exigirá mais água para a sua mistura (SILVA, 1995).

A forma e a textura superficial do agregado aparentemente têm considerável influência sobre a resistência do concreto, sendo a resistência à flexão mais afetada do que a resistência à compressão. No caso de concretos de alta resistência os efeitos da forma e textura são particularmente significativos (NEVILLE, 1997).

Segundo MEHTA e MONTEIRO (2008) existem evidências de que, nas primeiras idades, a textura superficial do agregado influencia na resistência à flexão

do concreto, pois uma textura mais áspera proporciona maior aderência mecânica entre o agregado e a pasta de cimento. Já em idades mais avançadas a forte aderência química entre o agregado e pasta de cimento é mais significativa do que a aderência mecânica, não havendo mais tanta influência da textura na resistência.

#### **4.2.4 Porosidade, absorção e umidade superficial do agregado**

A porosidade, a absorção e a umidade superficial do agregado influenciam várias propriedades do concreto tais como a aderência entre o agregado e a pasta de cimento hidratada, a resistência ao congelamento e degelo, a estabilidade química e a resistência à abrasão.

NEVILLE (1997) relata que a porosidade afeta a massa específica aparente do agregado e conseqüentemente o volume de concreto para uma determinada massa de agregado. O tamanho dos poros dos agregados é muito variável e, apresentam especial interesse aqueles menores do que 4  $\mu\text{m}$ , pois acredita-se que eles prejudicam a durabilidade dos agregados submetidos a ciclos alternados de congelamento e degelo. Os poros maiores podem ser vistos ao microscópio ou a olho nu, e os menores têm tamanhos superiores aos poros da pasta de cimento. Devido à sua viscosidade, a pasta de cimento não consegue penetrar a grande profundidade nos poros menores, mas para fins de cálculo do teor de agregado no concreto, o volume total da partícula é calculado como se ela fosse um sólido. A quantidade de água que pode entrar nos poros depende do tamanho, da continuidade e do volume total desses poros. É evidente que a porosidade do agregado contribui para a porosidade global do concreto, pois cerca de 75% do seu volume total é constituído de agregados. A Tabela 4.3 mostra os valores de porosidade de algumas rochas comumente encontradas na natureza.



TABELA 4.3: Porosidade de algumas rochas comuns

GRUPO DE ROCHAS	POROSIDADE %
Arenito	0,0 – 48,0
Quartzito	1, 9 – 15,1
Calcário	0,0 – 37,6
Granito	0,4 – 3,8

Fonte: (NEVILLE, 1997).

ANDRADE (1997) menciona que, para um mesmo tipo de agregado, maior porosidade significa maior grau de alteração, menor massa específica e maior absorção e que a umidade superficial e a absorção de água pelo agregado são parâmetros de grande importância nas pesquisas, pois interferem diretamente na quantidade de água de amassamento.

Pode-se dizer que os poros localizados na superfície do agregado têm influência sobre a sua aderência com a pasta de cimento, podendo, portanto influenciar na resistência do concreto, embora não haja nenhuma relação definida entre a resistência e a absorção de água pelo agregado (NEVILLE, 1997).

De acordo com a quantidade de água presente no agregado ele pode se apresentar como:

- a) completamente seco: quando o agregado é, por exemplo, exposto a uma secagem prolongada em estufa, podendo não restar nenhum vestígio da água evaporável (MEHTA e MONTEIRO, 2008);
- b) seco ao ar: quando o agregado exposto ao ar seco, por exemplo, no laboratório, perde parte da água devido à evaporação natural;
- c) saturado e com a superfície seca (SSS): quando todos os poros permeáveis, do agregado, estão preenchidos e não há um filme de água na superfície;
- d) saturado e com umidade superficial: quando o agregado apresenta quantidade de água além da necessária para a condição SSS.

A Figura 4.3 ilustra, esquematicamente, os diferentes níveis de secagem do agregado.

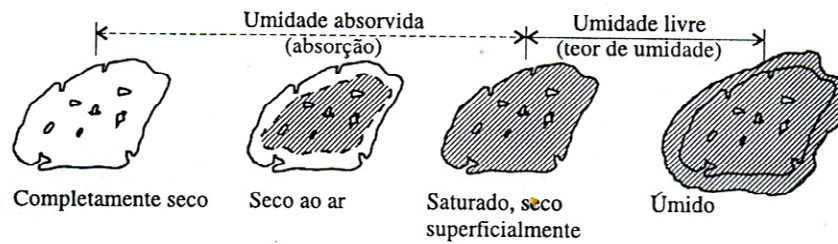


Figura 4.3: Representação esquemática da umidade do agregado

Fonte: (NEVILLE, 1997).

Considera-se, normalmente, que no período da pega do concreto o agregado esteja na condição saturada superfície seca e, portanto, pode ocorrer, em situação de clima quente e seco, que, se o agregado estiver em condição seca no início do processo de mistura, parte da água de amassamento seja absorvida pelo agregado até levá-lo à condição de saturado. No entanto, em caso de agregado graúdo, o rápido recobrimento do mesmo pela pasta de cimento pode impedir a sua saturação, pois o deslocamento da água da superfície para o interior da partícula será interrompido. Como consequência, a relação água/cimento torna-se maior do que seria caso houvesse a total absorção de água pelo agregado. Este efeito é significativo nas misturas ricas em que pode ocorrer o rápido recobrimento do agregado pela pasta de cimento; já em misturas pobres, com muita água, a saturação do agregado se processa normalmente. Na prática, o comportamento real da mistura é afetado também pela ordem de colocação dos componentes na betoneira (NEVILLE, 1997).

O aumento da absorção de água pelo agregado, antes de atingir a saturação, provoca também alguma perda de trabalhabilidade da mistura, sendo a mesma pequena após 15 minutos. Nunca acontece, na prática, a saturação total do agregado, pois a absorção torna-se mais lenta à medida que o mesmo vai umedecendo ou é interrompida devido ao recobrimento do agregado pela pasta de cimento. Por isso muitas vezes é útil determinar a quantidade de água absorvida em 10 a 30 minutos (NEVILLE, 1997).

A capacidade de absorção de água (ou simplesmente absorção) pelo agregado, segundo MEHTA e MONTEIRO (2008), é definida como a quantidade total de água necessária para transferi-lo da condição seca em estufa para a condição SSS.

A absorção de água pelo agregado é obtida determinando-se o acréscimo relativo de massa adquirido por uma amostra seca em estufa e depois imersa em água durante 24 horas, removendo-se a água superficial. A relação percentual entre o aumento de massa e a massa da amostra seca é denominada absorção.

As normas NBR NM 30 (ABNT, 2001) e NBR NM 53 (ABNT, 2003), prescrevem, respectivamente, os métodos de ensaios para a determinação da absorção de água pelo agregado miúdo e pelo agregado graúdo.

No concreto fresco, a condição básica do agregado deve ser SSS, mas se houver qualquer água presente na sua superfície a mesma entra na mistura ocupando um volume além do volume do agregado. Isto ocorre, por exemplo, quando o agregado fica exposto à chuva acumulando considerável quantidade de água na superfície das partículas. Esta umidade superficial ou livre (a excedente em relação àquela retida na condição SSS) deve ser considerada no cálculo da dosagem do concreto. O agregado graúdo raramente contém mais do que 1% de umidade superficial, mas o agregado miúdo pode conter até mais de 10% sendo, a umidade superficial do agregado expressa como porcentagem da massa do agregado na condição SSS (NEVILLE, 1997).

O teor de umidade pode ser definido para qualquer situação da amostra: natural, seca ao ar, totalmente seca (seca em estufa), totalmente saturada, partículas saturadas com superfície úmida ou partículas saturadas com superfície seca. A massa de água é determinada pela diferença entre o peso da amostra (sólidos e água) e o peso da amostra totalmente seca (FARIAS e PALMEIRA, 2010).

Vários são os métodos existentes para a determinação do teor de umidade, tais como: método da “frigideira”, do picnômetro, da balança, da medida da pressão de gás, etc. Dispositivos elétricos, que permitem leituras instantâneas ou contínuas do teor de umidade, são também utilizados em silos.

É indubitável que, quando a umidade do agregado é variável, a determinação contínua da umidade e o ajustamento automático da água a ser adicionada na mistura, reduzem significativamente a variabilidade das propriedades do concreto no estado fresco e endurecido.

#### 4.2.5 Resistência do agregado

PINHEIRO (2003) relata que costumava-se especificar um ensaio, com cilindros preparados, para a determinação da resistência à compressão de rochas. No entanto, devido à influência da presença de planos de clivagem da rocha o resultado desse ensaio pode não ser significativo, a não ser que a rocha tenha sido fragmentada até os tamanhos que serão usados no concreto. Esse ensaio é raramente usado, pois em essência, o ensaio de compressão mede a qualidade da rocha-mãe, mas não propriamente a qualidade dos agregados usados no concreto.

A resistência à compressão das partículas do agregado, isoladamente, é difícil de ser determinada sendo, por isso, obtida, usualmente, por meio de parâmetros indiretos tais como: o valor da resistência ao esmagamento do agregado em fragmentos, a força necessária para compactar o agregado em fragmentos e o desempenho do agregado no concreto. Mesmo não sendo fácil estabelecer a resistência das partículas do agregado, é evidente que a resistência à compressão do concreto não pode ser significativamente maior do que a da maior parte do agregado (TELLUS, 2009).

A avaliação do desempenho de determinado agregado, no concreto, de acordo com NEVILLE (1997), é feita por conhecimento prévio do seu comportamento ou por meio da sua utilização experimental em um concreto com resistência conhecida elaborado com agregados já empregados anteriormente. Se a resistência à compressão do concreto, elaborado com um agregado em estudo, for insatisfatória e, em particular, se após a ruptura do corpo de prova de concreto, houver muitas partículas do agregado rompidas pode-se concluir que a resistência do agregado é menor do que a resistência à compressão nominal desse concreto (elaborado com agregados já empregados anteriormente).

Em geral, as resistências à compressão e à tração da rocha ou de alguns materiais sintéticos, utilizados como agregados, são superiores à do concreto com eles elaborados, pois a zona de transição, entre a pasta e o agregado, é a parte mais fraca do sistema. São raros os casos em que o agregado possui resistência mecânica inferior à da pasta ou da argamassa que o envolve; isso ocorre em concreto de alto desempenho e em certos tipos de concretos fabricados com

agregados leves e com alguns tipos de agregados como o micaxisto (ANDRADE, 1997).

NEVILLE (1997) salienta que é possível que a resistência do concreto seja influenciada não apenas pela resistência mecânica do agregado, mas também, muito significativamente, por suas propriedades físicas tais como a absorção e a aderência. A resistência e a elasticidade do concreto dependem da sua composição, textura e estrutura sendo que uma resistência baixa pode ser devida à pequena resistência dos grãos constituintes ou os grãos serem resistentes mas não estarem bem ligados ou cimentados entre si.

Um bom valor médio para a resistência à compressão do agregado é em torno de 200 MPa, embora existam muitos agregados excelentes com resistência de até 80 MPa. A preservação da integridade do concreto pode ser conseguida por meio da utilização de agregados com resistência e módulo de elasticidade moderados ou baixos, pois se o agregado for compressível, as variações de volume do concreto de origem hidráulica ou térmica, resultam em menores tensões na pasta de cimento hidratada, minimizando a fissuração da mesma. A Tabela 4.4 mostra os valores de resistência de algumas rochas onde se observa que os mesmos são consideravelmente maiores do que os valores normais de resistência do concreto, pois as tensões aplicadas na interface das partículas podem ser muito maiores do que a tensão nominal aplicada (NEVILLE, 1997).

TABELA 4.4: Resistência à compressão de rochas americanas geralmente usadas como agregados de concreto

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)				
TIPO DE ROCHA	NÚMERO DE AMOSTRAS	VALOR MÉDIO	VALOR MÁXIMO	VALOR MÍNIMO
Granito	278	181	257	114
Felsito	12	324	526	120
Basalto	59	283	377	201
Calcário	241	159	241	93
Arenito	79	131	240	44
Mármore	34	117	244	51
Quartzito	26	252	423	124
Gnaisse	36	147	235	94
Xisto	31	170	297	91

Fonte: (NEVILLE, 1997).

Valores típicos da resistência à compressão da maioria dos agregados de granito, basalto, rochas plutônicas (tipo *trap rock*), flint, arenito quartizítico e calcários densos variam de 210 a 310 MPa e o módulo de elasticidade dinâmico varia de 70 a 90 GPa (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

NEVILLE (1997) menciona que não existe uma relação geral de dependência entre a resistência e o módulo de elasticidade de diferentes agregados. Raramente se determina o módulo de elasticidade do agregado, mas isso não é importante, pois geralmente, o módulo de elasticidade do concreto é tanto maior quanto maior forem os módulos de elasticidade dos agregados que o constituem. A grandeza da fluência e da retração que podem ocorrer no concreto é influenciada pelo módulo de elasticidade do agregado. Uma diferença muito grande entre os módulos de elasticidade do agregado e da pasta de cimento hidratada pode ocasionar o desenvolvimento de microfissuras na interface agregado-matriz.

Os agregados usualmente utilizados no concreto convencional são geralmente densos e resistentes e por isso eles são, raramente, um fator limitante da resistência e das propriedades elásticas do concreto endurecido (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

#### 4.2.6 Substâncias deletérias no agregado

Nos agregados podem ser encontradas substâncias deletérias que prejudicam a qualidade do concreto, tais como as películas que impedem a aderência efetiva entre o agregado e a pasta de cimento hidratada, impurezas que interferem no processo de hidratação do cimento, e partículas fracas ou não sãs. Também parte do agregado ou todo ele pode ser prejudicial ao concreto devido ao desenvolvimento de reações químicas com a pasta de cimento tal como ocorre nas reações álcali-agregado.

##### 4.2.6.1 Argila e outros materiais finos

A presença de argila nos agregados é prejudicial ao concreto, pois ela pode estar presente sob a forma de películas superficiais impedindo uma boa aderência entre o agregado e a pasta de cimento com conseqüente prejuízo para a resistência e para a durabilidade do concreto (COURA, 2009).

NEVILLE (1997) salienta que o silte e o pó de pedreira são dois tipos de materiais finos que podem estar presentes no agregado. O silte é o material que possui tamanho entre 2  $\mu\text{m}$  e 60  $\mu\text{m}$  e é formado por processos naturais de intemperismo sendo, por isso, encontrado em agregados extraídos de jazidas naturais. O pó de pedreira é um material fino resultante do processo de fragmentação da rocha para a obtenção de pedra britada, ou, menos frequentemente de seixo para a obtenção de agregado miúdo. Embora haja um aumento na retração do concreto, não existe objeção quanto ao uso de agregados com películas bem aderentes, quimicamente estáveis e que não podem ser removidas por lavagem.

O silte e o pó fino podem estar presentes, no agregado, na forma de películas semelhantes às formadas pela argila e/ou na forma de partículas soltas não aderentes ao agregado graúdo, portanto não devem existir em quantidade excessiva, no concreto, porque, devido à finura, apresentam grande área superficial aumentando a demanda de água necessária para molhar todas as partículas na mistura (elevação da relação água/cimento) com conseqüente prejuízo para a resistência do concreto (PETRUCCI, 1987).

A norma NBR 7211 (ABNT, 2009) estabelece, conforme mostram as Tabelas 4.5 e 4.6, os limites máximos aceitáveis de argila e material fino (material pulverulento) presentes em agregados miúdos e graúdos para concreto.

TABELA 4.5: Limites máximos aceitáveis de substâncias nocivas no agregado miúdo com relação à massa do material

	Concreto submetido a desgaste superficial	Concreto protegido do desgaste superficial
Torrões de argila	3,0%	3,0%
Material pulverulento	3,0%	5,0%

Fonte: (NBR 7211 (ABNT, 2009)).

TABELA 4.6: Limites máximos aceitáveis de substâncias nocivas no agregado graúdo com relação à massa do material

	Concreto aparente	Concreto sujeito a desgaste superficial	Outros concretos
Torrões de argila	1,0%	2,0%	3,0%
Material pulverulento	1,0%	1,0%	1,0%

Fonte: (NBR 7211 (ABNT, 2009)).

#### 4.2.6.2 Impurezas orgânicas

As impurezas orgânicas, presentes nos agregados, são constituídas, geralmente, por partículas de húmus e argila orgânica e, segundo ALVES (1987, 1993), prejudicam a resistência do concreto.

NEVILLE (1997) salienta que mesmo que o agregado tenha resistência suficiente, pode não ser satisfatório para uso em concreto se contiver impureza orgânica em quantidade que possa interferir com as reações químicas resultantes da hidratação do cimento.

As impurezas orgânicas são encontradas com maior frequência nos agregados miúdos e podem ser removidas utilizando água alcalina.

A norma NBR NM 49 (ABNT, 2001) estabelece os procedimentos para determinação do teor de impurezas orgânicas e norma NBR 7211 (ABNT, 2009) preconiza, para a aceitabilidade do agregado miúdo, que a solução obtida no ensaio deve ser mais clara do que a solução padrão.



#### 4.2.6.3 Partículas fracas ou não são

Partículas fracas ou não são, presentes nos agregados, são aquelas que não conseguem manter a integridade (friáveis) ou aquelas que se expandem e se desagregam quando expostas à água ou ao congelamento e, portanto, deve-se limitar a quantidade das mesmas no concreto. São exemplos de partículas fracas ou não são: o carvão (material carbonoso), a mica, os xistos, etc.

O carvão é indesejável no concreto, pois pode se expandir causando desagregação e, se presente em grande quantidade, em forma de pequenas partículas, pode perturbar o processo de hidratação da pasta de cimento. Sob forma de partículas discretas e em teor de até 0,25% da massa do agregado, não tem efeito prejudicial sobre a resistência do concreto (NEVILLE, 1997).

A norma NBR 7211 (ABNT, 2009) recomenda a utilização do método de ensaio prescrito na norma ASTM C 123 para a determinação do teor de materiais carbonosos e prescreve seu limite máximo, conforme mostrado na Tabela 4.7.

TABELA 4.7: Limites máximos aceitáveis de materiais carbonosos com relação à massa do material

Tipo de concreto	Quantidade máxima relativa à massa do agregado miúdo	Quantidade máxima relativa à massa do agregado graúdo
Concreto aparente	0,5%	0,5%
Concreto não aparente	1,0%	1,0%

Fonte: (NBR 7211 (ABNT, 2009)).

A presença de mica deve ser evitada no agregado, pois em contato com os agentes ativos do cimento, pode sofrer transformação para outras formas prejudiciais ao concreto. A mica livre, mesmo em pequenas porcentagens, influencia de modo adverso a demanda de água e a resistência do concreto. A presença de mica na forma de muscovita é, aparentemente, muito mais prejudicial ao concreto do que na forma de biotita.

NEVILLE (1997) relata que Fookes e Rovic determinaram que para um teor de 5% de mica, há uma redução de cerca de 15% na resistência do concreto aos 28 dias, mesmo mantendo constante a relação água/cimento. Isso provavelmente

ocorreu devido à menor aderência entre a pasta de cimento e a superfície das partículas de mica.

A presença de xistos e de outras partículas com massa específica baixa pode provocar falhas ou escamamento do concreto. Essas partículas em teores altos (maiores do que 2% a 5% da massa do agregado) podem comprometer a resistência do concreto e, em concretos submetidos à abrasão, não devem estar presentes.

A maioria das impurezas citadas nesta seção são pouco encontradas nos agregados britados e mais frequentemente ocorrem sob forma de jazidas naturais. Entretanto, alguns agregados beneficiados, como resíduos de mineração, podem conter substâncias nocivas tais como pequenas quantidades de chumbo solúvel em água da cal, que pode retardar muito a pega e reduzir a resistência do concreto nas primeiras idades (NEVILLE, 1997).

#### 4.3 CARACTERÍSTICAS QUE OS AGREGADOS DEVEM APRESENTAR PARA ATENDIMENTO DE ALGUNS PARÂMETROS DE DOSAGEM DOS CONCRETOS

A dosagem do concreto é, simplesmente, o processo de seleção dos materiais constituintes, determinando-se as respectivas proporções com o objetivo de produzir, da forma mais econômica possível, um concreto com determinadas propriedades mínimas, principalmente consistência adequada, resistência e durabilidade.

Quanto ao tipo de agregado, é possível dispor-se no local da obra, de agregados apropriados quanto à forma e textura e que não apresentem reatividade com os compostos hidratados da pasta de cimento (HELENE e TERZIAN, 1993). Existem alguns parâmetros importantes que evoluem em sentidos opostos quando se pretende obter resistência e durabilidade; daí a necessidade de se estabelecer um compromisso entre o ótimo e o possível. A Tabela 4.8 mostra a influência desses parâmetros na dosagem dos concretos.

TABELA 4.8: Sentido da evolução de diversos parâmetros da dosagem

Parâmetros de dosagem do concreto	Concreto fresco	Concreto endurecido	Para redução de custo
	Para uma boa trabalhabilidade	Para uma boa resistência	
Granulometria do agregado miúdo	De preferência fina	De preferência grossa	Grossa
Relação agregado graúdo / miúdo	A diminuir	A aumentar	A maior possível
Consumo de água	A aumentar até certo ponto	A diminuir	A aumentar
Granulometria total	Preferível contínua	Preferível descontínua	A disponível
Dimensão máxima característica do agregado	De preferência média	De preferência pequena	A maior possível
Geometria do grão do agregado graúdo	De preferência esférica	De preferência irregular	Esférica (pedregulho)

Fonte: (HELENE e TERZIAN, 1993).

#### 4.4 REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO (RAA)

##### 4.4.1 Considerações iniciais

A vida útil de qualquer empreendimento está intimamente ligada aos estudos na fase de viabilidade, projeto básico e no acompanhamento da construção. Esses estudos devem ser realizados com a finalidade de se evitar qualquer tipo de patologia. A RAA é, dentre outras, uma das causas da deterioração do concreto e tem sido motivo de investigações para a compreensão dos mecanismos e dos fatores que a influenciam bem como da busca de soluções seguras e viáveis para a recuperação de estruturas por ela deterioradas.

ANDRADE (1997) menciona que as primeiras constatações de ocorrência de RAA, de acordo com várias publicações, datam de 1940 quando Stanton deduziu que a reação entre determinados componentes do agregado e os hidróxidos alcalinos liberados na hidratação do cimento Portland, era a causa primária de fissuras e expansões em algumas estruturas de concreto na Califórnia. Esse tipo de reação também foi detectado em vários outros países.

#### 4.4.2 Processamento da RAA

MEHTA e MONTEIRO (2008) salientam que a RAA é uma reação química envolvendo os íons alcalinos do cimento Portland, íons hidroxila e certos constituintes que podem estar presentes nos agregados. Essa reação pode resultar em expansão e fissuração, “pipocamentos” e exsudação de um fluido viscoso (álcali-silicoso na reação álcali-sílica). ANDRIOLO (1997) menciona que um dos produtos formados na reação, é o gel higroscópico expansivo cuja composição química inclui sílica, álcalis e ocasionalmente uma pequena quantidade de cálcio.

De acordo com a NBR 15577-1 (ABNT, 2008) a RAA é uma reação química entre alguns constituintes presentes em certos tipos de agregados e os componentes alcalinos (hidróxidos alcalinos, segundo ANDRIOLO (1997)) que estão dissolvidos na solução dos poros do concreto. Sua ocorrência está condicionada à presença simultânea de três fatores: agregado potencialmente reativo, umidade e álcalis.

ANDRIOLO (1997) ressalta que os hidróxidos alcalinos são geralmente derivados dos álcalis sódio e potássio do cimento Portland, mas podem, ocasionalmente, vir de outras fontes. PAULON e ARMELIN (1997) salientam que os álcalis podem também ser provenientes da água de amassamento (águas alcalinas, água do mar), de pozolanas e até mesmo de agregados.

A RAA começa, segundo NEVILLE (1997), com o ataque dos hidróxidos alcalinos, resultantes principalmente dos álcalis do cimento, aos minerais silicosos do agregado. Os íons hidroxila atacam a superfície da sílica resultando num gel de álcali-silicato nos planos mais fracos, ou nos poros do agregado ou na superfície das partículas do agregado. O gel, formado na superfície das partículas do agregado, resulta numa zona de alteração superficial característica que pode destruir a aderência entre o agregado e a pasta que o envolve.

O gel é higroscópico e tende a aumentar de volume, mas como está confinado pela pasta de cimento hidratada, forma-se uma pressão interna que pode eventualmente resultar em expansão, fissuração e desagregação da pasta de cimento. A expansão pode ser devida à pressão hidráulica, mas também pode ser causada por inchamento dos produtos sólidos da RAA (NEVILLE, 1997).

Quando a sílica está bem cristalizada o ataque dos íons hidroxila se dá somente na superfície externa sendo que esse processo é muito lento e poucos íons de sílica passam para a fase fluida. Entretanto a sílica pouco cristalina permite a penetração generalizada dos íons hidroxila o que acaba por romper as ligações do sistema Si-O-Si, resultando numa estrutura polieletrólítica contendo álcalis, ou seja o gel da RAA (DENT GLASSER e KATAOKA, 1981).

Um esquema do desenvolvimento da RAA, desde a formação do gel até a fissuração do concreto, foi adaptado e apresentado por VALDUGA (2002) conforme ilustra a Figura 4.4.

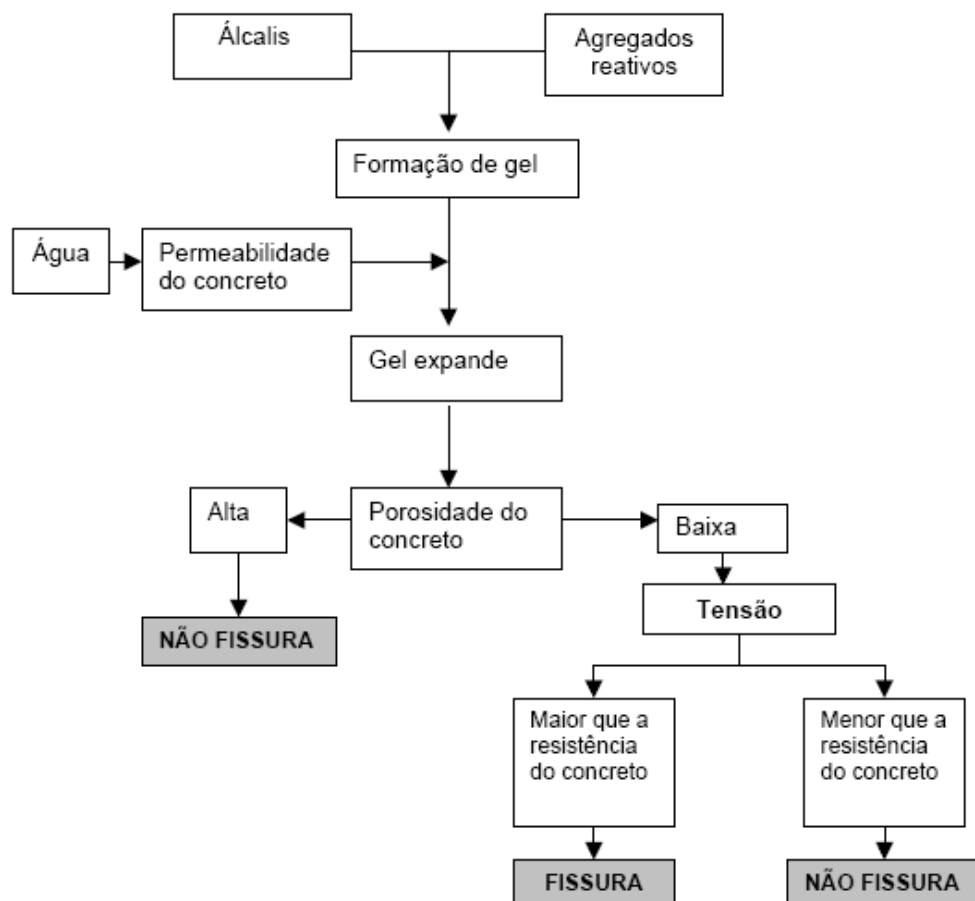


Figura 4.4: Desenvolvimento da RAA

Fonte: (VALDUGA, 2002).

A prevenção é a melhor forma de se tentar evitar que a RAA se desencadeie, pois as soluções remediativas ainda necessitam de estudos mais aprofundados para serem implementadas (TIECHER, 2006).

A RAA pode ser de três tipos: reação álcali-sílica, reação álcali-silicato e reação álcali-carbonato (ANDRADE, 1997 e NBR 15577-1 (ABNT, 2008)).

#### **4.4.3 Reação álcali-sílica (RAS)**

Ocorre entre a sílica reativa dos agregados e os álcalis, na presença do hidróxido de cálcio originado pela hidratação do cimento, formando um gel expansivo. São exemplos de sílica reativa: opala, tridimita, cristobalita, vidro vulcânico, etc. Este é o tipo de RAA que mais rapidamente se desenvolve (NBR 15577-1 (ABNT, 2008)).

A RAS é uma das principais causas da deterioração do concreto no mundo todo afetando elementos estruturais e não estruturais. Embora tenham sido aplicados grandes esforços em pesquisas, até hoje a deterioração do concreto devido a essa reação, não está claramente compreendida não se podendo, muitas vezes, adotar medida preventiva eficaz para reduzir o risco de desenvolvimento desse tipo de reação (SCHWING, 2010).

#### **4.4.4 Reação álcali-silicato**

É a reação que ocorre entre os álcalis do cimento e os silicatos existentes nos feldspatos, folhelhos argilosos e certas rochas sedimentares, metamórficas e magmáticas (KIHARA, 1986). Os silicatos reativos mais comuns são o quartzo tensionado por processos tectônicos e os minerais da classe dos filossilicatos presentes em ardósias, filitos, xistos, gnaisses, granulitos, quartzitos, entre outros. Geralmente esta reação é mais lenta do que a reação álcali-sílica. Para esse tipo de reação, são aplicadas as mesmas prescrições estabelecidas para a reação álcali-sílica de acordo com a NBR 15577-1 (ABNT, 2008).

#### **4.4.5 Reação álcali-carbonato (RAC)**

Participam desta reação, os álcalis e os agregados rochosos carbonáticos. A forma mais conhecida da deterioração do concreto é devida à desdolomitização da rocha com conseqüente enfraquecimento da ligação pasta-agregado, não havendo a formação de gel expansivo. São formados compostos cristalizados como brucita, carbonatos alcalinos, carbonato cálcico e silicato magnésiano. A reação regenera os

hidróxidos alcalinos fazendo com que a desdolomitização tenha continuidade até que a dolomita tenha reagido por completo ou a fonte de álcalis se esgote (NBR 15577-1 (ABNT, 2008)).

A RAC caracteriza-se pela formação de pontos de brucita dentro das bordas de reação e de halos de carbonato de cálcio na pasta de cimento não denotando expansão ou fissuração (KATAYAMA, 2004).

#### **4.4.6 Fatores que podem influenciar a intensidade da RAA**

##### 4.4.6.1 Teor de álcalis no concreto

Mesmo utilizando agregado reativo, MEHTA e MONTEIRO (2008) e DE SOUZA e RIPPER (1998), salientam que, sendo o cimento a principal fonte de álcalis no concreto, a limitação do teor de álcalis, no cimento, em no máximo 0,6% evita danos provenientes da RAA. No entanto, experiências mostraram que esta limitação por si só, não garante a não ocorrência dessa reação. HOBBS (1982) menciona que estudos realizados na Alemanha e na Inglaterra mostram que se o teor de álcalis, no concreto, for inferior a  $3,0 \text{ kg/m}^3$ , provavelmente não ocorrerá reação deletéria.

A NBR 15577-1 (ABNT, 2008), recomenda limitar os teores de álcalis do concreto, na ação preventiva mínima e moderada, valores inferiores a  $3,0 \text{ kg/m}^3$  e  $2,4 \text{ kg/m}^3$ , respectivamente. A mesma norma aceita considerar o aporte de álcalis trazido ao concreto pelo cimento, na ausência de ensaios de todos os componentes do concreto.

Assim, se possível, deve-se levar em conta todas as fontes adicionais que possam introduzir álcalis no concreto tais como os álcalis dos agregados, da água, dos aditivos, etc.

##### 4.4.6.2 Agregados

HOBBS (1988) salienta que há indícios de que partículas menores contendo fase reativa provocam maiores expansões no concreto.

PAULON e ARMELIN (1997) relatam que partículas de agregado reativo menores do que  $0,050 \text{ mm}$  não provocam expansão, pois devido à sua grande superfície específica rapidamente reduzem a concentração de álcalis evitando que

os agregados maiores sofram as reações secundárias que formariam o gel expansivo.

#### 4.4.6.3 Condições ambientais

A umidade é um dos requisitos para o processamento da RAA, pois ela promove a solubilização dos íons que participam da reação. Umidades relativas abaixo de 80% não provocam expansão no concreto devido à RAA, segundo diversos autores.

NEVILLE (1997) menciona que a umidade mínima, no interior do concreto, deve ser de cerca de 85% a 20°C, para que haja reação. Como as reações químicas são sensíveis à temperatura, a reação pode ocorrer às temperaturas mais altas, mesmo em umidades mais baixas.

Ciclos de molhagem e secagem favorecem a reação por possibilitar a migração de íons álcalis da parte molhada para a parte mais seca.

#### 4.4.7 Principais sintomas decorrentes de RAA

ANDRIOLO (1997) salienta que os principais sintomas decorrentes de RAA são:

- a) microfissuras no concreto;
- b) fissuras nas proximidades das superfícies dos agregados graúdos ou nas interfaces;
- c) presença de gel exsudando ou preenchendo os vazios do concreto;
- d) fissuração característica na superfície, com panorama poligonal, e predominância na direção de maior dimensão. Fissuras decorrentes de RAA, de pequena abertura, podem ser confundidas com o panorama de reação por sulfato ou até mesmo de retração por secagem e fissuras de grande abertura podem ser confundidas com as de origem térmica.

A fissuração do elemento de concreto pode ocasionar a perda de sua estanqueidade por possibilitar a penetração de agentes agressivos, juntamente com a água, para o seu interior.



#### **4.4.8 Tipos de estruturas de concreto mais suscetíveis à ocorrência de RAA**

A RAA ocorre, particularmente, nas áreas úmidas do concreto em estruturas tais como barragens, pontes, pavimentos, quebra-mar, píer, etc. As barragens, por apresentarem maior risco e em face das dificuldades de reparo, têm sido objeto de maior preocupação quanto à ocorrência de patologia por esse tipo de reação.

#### **4.4.9 Registros de alguns casos de medidas que evitaram a expansão provocada pela RAA (ANDRADE, 1997)**

##### **4.4.9.1 Barragem de Jupia**

Construída no rio Paraná, entre as cidades de Três Lagoas (Mato Grosso do Sul) e Castilho (São Paulo). Para a construção dessa obra, Gytahy, em 1963, desenvolveu o primeiro estudo sobre a RAA, no Brasil, quando identificou a presença de agregados reativos que provocavam expansão. A medida tomada foi o emprego de até 35% de pozolana.

##### **4.4.9.2 Barragem de Água Vermelha**

Construída no rio Grande, na divisa dos Estados de São Paulo e Minas Gerais, entre 1975 e 1979. Por meio de ensaios, foi constatado que um dos agregados (cascalho) apresentava comportamento deletério. A providência tomada foi o emprego de cimento com teor de álcalis igual ou menor que 0,6% e adição de 30% de pozolana.

#### **4.4.10 Registros de alguns casos de ocorrência de danos provocados pela expansão decorrente de RAA (ANDRADE, 1997)**

##### **4.4.10.1 Barragem de Moxotó (Usina hidroeétrica de Apolônio Sales)**

Construída no rio São Francisco, entre 1972 e 1977, o concreto empregado apresentou reação expansiva entre um dos componentes mineralógicos (quartzo deformado) do agregado e os álcalis do cimento provocando mudança na geometria original da Casa de Força, causando sérios problemas estruturais e operativos nos grupos hidrogeradores. A fim de inibir a reação, foram recomendadas injeções de CO<sub>2</sub> sob pressão e redução da temperatura em partes da estrutura (poço da turbina), pois a temperatura foi considerada como um dos fatores aceleradores da

reação. Para minimizar os efeitos da expansão foram ampliadas as aberturas das juntas entre os blocos o que possibilitou a recuperação de parte da geometria, liberação de tensões na estrutura e novas recentragens e ajustes das peças fixas e embutidas.

#### 4.4.10.2 Barragem de Joanes II

Foi construída em Camaçari, Bahia, no período de 1969 a 1971. Em 1987, devido à ocorrência de alguns problemas, foram realizadas inspeções das estruturas emersas e submersas, sendo constatadas fissurações, em mapa, em algumas estruturas emersas, principalmente nos muros laterais do canal de aproximação do vertedouro. Por meio de exames petrográficos, foi constatado o desenvolvimento de RAA, devido à presença de quartzo deformado presente em alguns fragmentos do agregado graúdo (gnaisse). Para minimizar o problema, foi sugerida a proteção da região superior dos muros laterais do canal de aproximação, aplicando, superficialmente, argamassa ou concreto projetado com o objetivo de diminuir a penetração de umidade através das fissuras. Também foi sugerido o monitoramento das estruturas de concreto para detectar eventuais indícios de desenvolvimento de RAA.

#### 4.4.10.3 Barragem de Furnas

A construção da barragem, localizada no rio Grande, teve início em julho de 1958 no município de Alpinópolis, Minas Gerais, sendo sua operação comercial iniciada em setembro de 1963. Em meados dos anos 90, no vertedouro, foram observadas fissuras em forma de mapa e, após análises em testemunhos de concreto, constatou-se que as mesmas surgiram devido à ocorrência de RAA (reação álcali-silicato devido à presença de quartzito contendo quartzo extremamente deformado). Foram recomendadas as seguintes medidas para evitar o comprometimento da operacionalidade e a segurança da barragem: monitoramento das estruturas, mapeamento das fissuras, reparos com injeção de resina epóxi e extração periódica de testemunhos de concreto, para serem submetidos a um programa pré-estabelecido de ensaios. A Figura 4.5 ilustra a ocorrência de RAA na barragem de Furnas.

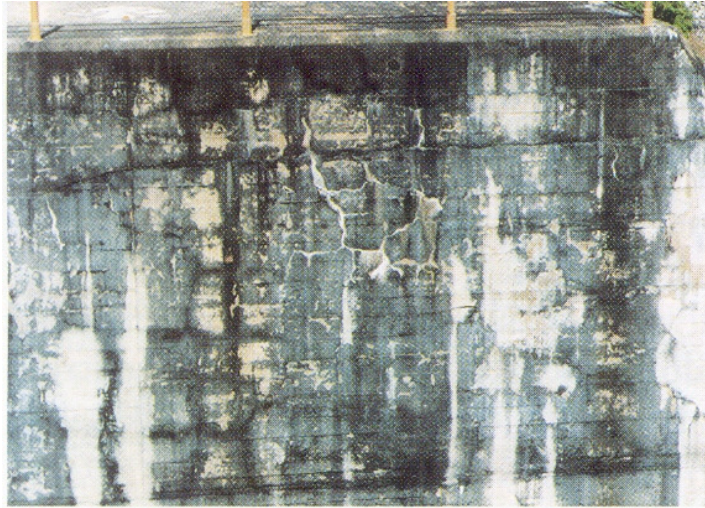


Figura 4.5: Ocorrência de RAA no pilar do vertedouro da barragem de Furnas

Fonte: (ANDRADE, 1997).

## **5 PROGRAMA EXPERIMENTAL**

### **5.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS**

Atualmente observa-se uma preocupação crescente na busca de medidas para preservação e uso racional dos recursos naturais disponíveis a fim de garantir o futuro do nosso planeta. A pesquisa de materiais alternativos produzidos a partir de materiais que são descartados sem nenhum critério é, sem dúvida, uma das medidas necessárias e importantes para a tentativa da garantia de um futuro melhor.

Na construção civil pesquisadores buscam incessantemente, a partir de materiais alternativos, a criação de novos produtos que devem, entre outras coisas, serem resistentes, duráveis, ter massa específica adequada e, sobretudo, preços competitivos.

Os materiais e métodos utilizados para o estudo da viabilidade da substituição, parcial ou integral, do agregado miúdo natural por agregados miúdos obtidos da trituração de rejeitos de granitos, em concreto de cimento Portland, são apresentados neste capítulo.

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais – Campus Juiz de Fora.

Para a verificação da viabilidade técnica do uso dos agregados miúdos triturados, foram analisadas as suas propriedades físicas, petrográficas e mecânicas dos concretos com eles confeccionados. Por método comparativo concluiu-se, no final do estudo, sobre a possibilidade ou não, do uso dos agregados em questão.

## 5.2 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

### 5.2.1 Cimento

Na pesquisa foi utilizado o cimento CP II E 32 – Ultra forte, fabricado e doado pela empresa HOLCIM do Brasil S.A., cuja caracterização física e química encontra-se no Anexo A.

### 5.2.2 Agregado miúdo natural (AMN)

Foi utilizada a areia média quartzosa proveniente do Rio do Peixe, adquirida no comércio local de Juiz de Fora – MG. Suas características físicas foram determinadas de acordo com as normas da ABNT, conforme mostradas na Tabela 5.1.

TABELA 5.1: Caracterização física da areia (AMN).

<b>Composição granulométrica (NBR NM 248 (ABNT, 2003))</b>	
<b>PENEIRA – Abertura (mm)</b>	<b>Total retido acumulado (%)</b>
4,75	1,79
2,36	19,16
1,18	47,14
0,60	67,10
0,30	86,56
0,15	98,93
<0,15	100,00
Massa específica (NBR NM 52)	2,62 kg/dm <sup>3</sup>
Massa específica aparente (NBR NM 52)	1,50 kg/dm <sup>3</sup>
Módulo de finura (NBR 7211)	3,21
Teor de argila (NBR 7218)	Isento
Teor de material pulverulento (NBR NM 46)	0,78%
Impureza orgânica (NBR NM 49)	<300 p.p.m.
Dimensão máxima característica (NBR 7211)	4,75 mm
Absorção de água (NBR NM 30)	1,95%

### 5.2.3 Agregado miúdo de rejeito de granito triturado (AMRGT)

#### 5.2.3.1 Considerações iniciais

Para a obtenção de agregados miúdos a partir de retalhos (rejeitos) de granito triturado (RGT) foram selecionados três tipos de granitos, com diferentes características, oriundos de pedreiras localizadas em regiões próximas da cidade de Cachoeiro do Itapemirim, estado do Espírito Santo, e comercializados na cidade de Juiz de Fora – MG. Os rejeitos foram doados por marmorarias localizadas em Juiz de Fora e triturados por triturador com mandíbulas, peneirados e pesados para a obtenção de agregados miúdos com a mesma composição granulométrica da areia natural (NA) e na granulometria ótima (GO). Cumpre salientar que foi considerada como granulometria ótima as médias das porcentagens retidas acumuladas, em massa, nas peneiras, entre os limites inferiores e superiores da zona ótima, conforme a NBR 7211 (ABNT, 2009).

As Figuras 5.1, 5.2, 5.3 e 5.4 ilustram partes do processo para a obtenção de AMRGT's.



Figura 5.1: Rejeitos de granitos.



Figura 5.2: Triturador com mandíbulas.



Figura 5.3: Peneirador automático.



Figura 5.4: Rejeitos de granitos triturados e peneirados.

#### 5.2.3.2 Agregado miúdo de rejeito de granito 1 triturado (AMRG1T)

O AMRG1T foi obtido por meio da trituração de retalhos do granito conhecido comercialmente como Cinza Bressan. A Figura 5.5 ilustra esse tipo de granito.



Figura 5.5: Granito Cinza Bressan.

A Tabela 5.2 mostra as características do granito Cinza Bressan utilizado na pesquisa.



TABELA 5.2: Características do granito Cinza Bressan

Origem	Estado do Espírito Santo
Classificação comercial	Granito cinza
Classificação petrográfica	Biotita monzogranito
Massa específica	2725 kg/m <sup>3</sup>
Porosidade	0,67%
Absorção de água	0,25%
Resistência à compressão simples	212,37 MPa
Resistência à compressão após gelo/degelo	160,87 MPa
Resistência à flexão	14,26 MPa
Desgaste Amsler	0,84 mm
Dilatação térmica linear	6,3 mm/m°C*10 <sup>-3</sup>
Composição mineralógica	2% de acessórios, 8% de biotita, 27% de quartzo, 30% de microclina, 33% de plagioclásios (oligoclásio e andesina)

Fonte: ([http://www.abirochas.com.br/rocha.php?rocha\\_id=94](http://www.abirochas.com.br/rocha.php?rocha_id=94)).

As características físicas do AMRG1T, na composição granulométrica idêntica ao AMN, foram determinadas de acordo com as normas da ABNT e são mostradas na Tabela 5.3.

TABELA 5.3: Caracterização física do AMRG1T na composição granulométrica idêntica ao AMN.

<b>Composição granulométrica (NBR NM 248 (ABNT, 2003))</b>	
<b>PENEIRA – Abertura (mm)</b>	<b>Total retido acumulado (%)</b>
4,75	1,79
2,36	19,16
1,18	47,14
0,60	67,10
0,30	86,56
0,15	98,93
<0,15	100,00
Massa específica (NBR NM 52)	2,70 kg/dm <sup>3</sup>
Massa específica aparente (NBR NM 52)	1,57 kg/dm <sup>3</sup>
Módulo de finura (NBR 7211)	3,21
Teor de argila (NBR 7218)	Isento
Teor de material pulverulento (NBR NM 46)	3,69%
Impureza orgânica (NBR NM 49)	<300 p.p.m.
Dimensão máxima característica (NBR 7211)	4,75 mm
Absorção de água (NBR NM 30)	0,95%

As características físicas do AMRG1T, na granulometria ótima, foram determinadas de acordo com as normas da ABNT e são mostradas na Tabela 5.4.

TABELA 5.4: Caracterização física do AMRG1T na composição granulométrica ótima.

<b>Composição granulométrica (NBR NM 248 (ABNT, 2003))</b>	
<b>PENEIRA – Abertura (mm)</b>	<b>Total retido acumulado (%)</b>
4,75	2,50
2,36	15,00
1,18	25,00
0,60	45,00
0,30	75,00
0,15	92,50
<0,15	100,00
Massa específica (NBR NM 52)	2,70 kg/dm <sup>3</sup>
Massa específica aparente (NBR NM 52)	1,59 kg/dm <sup>3</sup>
Módulo de finura (NBR 7211)	2,55
Teor de argila (NBR 7218)	Isento
Teor de material pulverulento (NBR NM 46)	3,20%
Impureza orgânica (NBR NM 49)	<300 p.p.m.
Dimensão máxima característica (NBR 7211)	4,75 mm

### 5.2.3.3 Agregado miúdo de rejeito de granito 2 triturado (AMRG2T)

O AMRG2T foi obtido por meio da trituração de retalhos do granito conhecido comercialmente como Verde Labrador. A Figura 5.6 ilustra esse tipo de granito.



Figura 5.6: Granito Verde Labrador.

As características do granito Verde Labrador, utilizado na pesquisa, são mostradas na Tabela 5.5.

TABELA 5.5: Características do granito Verde Labrador.

Origem	Estado do Espírito Santo
Classificação comercial	Granito verde
Classificação petrográfica	Hiperstênio hornblenda biotita quartzo monzonito
Massa específica	2690 kg/m <sup>3</sup>
Porosidade	0,71%
Absorção de água	0,26%
Resistência à compressão simples	146,0 MPa
Resistência à compressão após gelo/degelo	9,9 MPa
Resistência à flexão	11,26 MPa
Dilatação térmica linear	6,4 mm/m <sup>o</sup> C*10 <sup>-3</sup>
Composição mineralógica	5% de ortopiroxênio, 7% de hornblenda, 13% de biotita, 15% de quartzo, 30% de microclina micropertítico, 30% de plagioclásio (andesina)

Fonte: ([http://www.abirochas.com.br/rocha.php?rocha\\_id=146](http://www.abirochas.com.br/rocha.php?rocha_id=146))

As características físicas do AMRG2T, na composição granulométrica idêntica ao AMN, foram determinadas de acordo com as normas da ABNT e são mostradas na Tabela 5.6.

TABELA 5.6: Caracterização física do AMRG2T na composição granulométrica idêntica ao AMN.

<b>Composição granulométrica (NBR NM 248 (ABNT, 2003))</b>	
<b>PENEIRA – Abertura (mm)</b>	<b>Total retido acumulado (%)</b>
4,75	1,79
2,36	19,16
1,18	47,14
0,60	67,10
0,30	86,56
0,15	98,93
<0,15	100,00
Massa específica (NBR NM 52)	2,69 kg/dm <sup>3</sup>
Massa específica aparente (NBR NM 52)	1,51 kg/dm <sup>3</sup>
Módulo de finura (NBR 7211)	3,21
Teor de argila (NBR 7218)	Isento
Teor de material pulverulento (NBR NM 46)	4,16%
Impureza orgânica (NBR NM 49)	<300 p.p.m.
Dimensão máxima característica (NBR 7211)	4,75 mm
Absorção de água (NBR NM 30)	0,80%

As características físicas do AMRG2T, na granulometria ótima, foram determinadas de acordo com as normas da ABNT e são mostradas na Tabela 5.7.

TABELA 5.7: Caracterização física do AMRG2T na composição granulométrica ótima.

<b>Composição granulométrica (NBR NM 248 (ABNT, 2003))</b>	
<b>PENEIRA – Abertura (mm)</b>	<b>Total retido acumulado (%)</b>
4,75	2,50
2,36	15,00
1,18	25,00
0,60	45,00
0,30	75,00
0,15	92,50
<0,15	100,00
Massa específica (NBR NM 52)	2,69 kg/dm <sup>3</sup>
Massa específica aparente (NBR NM 52)	1,55 kg/dm <sup>3</sup>
Módulo de finura (NBR 7211)	2,55
Teor de argila (NBR 7218)	Isento
Teor de material pulverulento (NBR NM 46)	3,88%
Impureza orgânica (NBR NM 49)	<300 p.p.m.
Dimensão máxima característica (NBR 7211)	4,75 mm

#### 5.2.3.4 Agregado miúdo de rejeito de granito 3 triturado (AMRG3T)

O AMRG3T foi obtido por meio da trituração de retalhos do granito conhecido comercialmente como Marrom Graphite . A Figura 5.7 ilustra esse tipo de granito.



Figura 5.7: Granito Marrom Graphite.

As características do granito Marrom Graphite, utilizado na pesquisa, são mostradas na Tabela 5.8.

TABELA 5.8: Características do granito Marrom Graphite

Origem	Estado do Espírito Santo
Classificação comercial	Granito marrom
Classificação petrográfica	Hornblenda quartzo sienito
Massa específica	2710 kg/m <sup>3</sup>
Porosidade	0,61%
Absorção de água	0,22%
Resistência à compressão simples	121,0 MPa
Resistência à flexão	10,13 MPa
Desgaste Amsler	0,91 mm
Resistência ao impacto	2 m
Composição mineralógica	4% de titanita, 5% de quartzo, 5% de opacos, 7% de biotita, 14% de hornblenda, 20% de plagioclásios (oligoclásio e andesina), 45% de microclina micropertítico

Fonte: ([http://www.abirochas.com.br/rocha.php?rocha\\_id=220](http://www.abirochas.com.br/rocha.php?rocha_id=220)).

As características físicas do AMRG3T, na composição granulométrica idêntica ao AMN, foram determinadas de acordo com as normas da ABNT e são mostradas na Tabela 5.9.

TABELA 5.9: Caracterização física do AMRG3T na composição granulométrica idêntica ao AMN.

<b>Composição granulométrica (NBR NM 248 (ABNT, 2003))</b>	
<b>PENEIRA – Abertura (mm)</b>	<b>Total retido acumulado (%)</b>
4,75	1,79
2,36	19,16
1,18	47,14
0,60	67,10
0,30	86,56
0,15	98,93
<0,15	100,00
Massa específica (NBR NM 52)	2,72 kg/dm <sup>3</sup>
Massa específica aparente (NBR NM 52)	1,61 kg/dm <sup>3</sup>
Módulo de finura (NBR 7211)	3,21
Teor de argila (NBR 7218)	Isento
Teor de material pulverulento (NBR NM 46)	3,16%
Impureza orgânica (NBR NM 49)	<300 p.p.m.
Dimensão máxima característica (NBR 7211)	4,75 mm
Absorção de água (NBR NM 30)	1,63%

As características físicas do AMRG3T, na granulometria ótima, foram determinadas de acordo com as normas da ABNT e são mostradas na Tabela 5.10.



TABELA 5.10: Caracterização física do AMRG3T na composição granulométrica ótima.

<b>Composição granulométrica (NBR NM 248 (ABNT, 2003))</b>	
<b>PENEIRA – Abertura (mm)</b>	<b>Total retido acumulado (%)</b>
4,75	2,50
2,36	15,00
1,18	25,00
0,60	45,00
0,30	75,00
0,15	92,50
<0,15	100,00
Massa específica (NBR NM 52)	2,72 kg/dm <sup>3</sup>
Massa específica aparente (NBR NM 52)	1,63 kg/dm <sup>3</sup>
Módulo de finura (NBR 7211)	2,55
Teor de argila (NBR 7218)	Isento
Teor de material pulverulento (NBR NM 46)	2,67%
Impureza orgânica (NBR NM 49)	<300 p.p.m.
Dimensão máxima característica (NBR 7211)	4,75 mm

#### 5.2.4 Agregado graúdo

O agregado graúdo utilizado na pesquisa foi a brita gnáissica oriunda de pedreira localizada na cidade de Juiz de Fora – MG, sendo a sua caracterização física realizada de acordo com as normas da ABNT. A Tabela 5.11 mostra os resultados encontrados dessa caracterização.

TABELA 5.11: Caracterização física do agregado graúdo.

<b>Composição granulométrica (NBR NM 248 (ABNT, 2003))</b>	
<b>PENEIRA – Abertura (mm)</b>	<b>Total retido acumulado (%)</b>
25,00	0,00
19,00	13,36
12,50	71,13
9,50	87,93
6,30	94,05
4,75	94,38
2,36	94,38
1,18	94,38
0,60	94,38
0,30	94,38
0,15	94,38
<0,15	100,00
Massa específica (NBR NM 53)	2,72 kg/dm <sup>3</sup>
Massa específica aparente (NBR NM 53)	1,45 kg/dm <sup>3</sup>
Módulo de finura (NBR 7211)	6,68
Teor de argila (NBR 7218)	Isento
Teor de material pulverulento (NBR NM 46)	1,00%
Abrasão Los Angeles (NBR NM 51)	50,00%
Dimensão máxima característica (NBR 7211)	25,00 mm

### 5.2.5 Água

Em toda a pesquisa foi utilizada água potável fornecida pela empresa CESAMA responsável pelo abastecimento de água da cidade de Juiz de Fora – MG.

### 5.3 TRAÇO UTILIZADO PARA OS CONCRETOS

O traço utilizado, em todos os concretos da pesquisa, foi determinado pelo método de dosagem desenvolvido pelo IPT e descrito por HELENE e TERZIAN (1993), fixando-se um teor de argamassa seca igual a 50% e um abatimento de tronco de cone de aproximadamente  $80 \pm 10$  mm.

O traço, em massa, utilizado foi: 1: 1,73: 2,73: 0,50.

### 5.4 MISTURAS DE CONCRETOS CONFECCIONADAS

As misturas de concreto confeccionadas, para a pesquisa, são as mostradas na Tabela 5.12.

TABELA 5.12: Misturas de concreto confeccionadas.

Nomenclatura da mistura	Teor de agregados miúdos	Distribuição granulométrica do RGT
0GNA (mistura ou concreto de referência)	100% de AMN	Do AMN
25G1NA	25% de AMRG1T + 75% de AMN	Mesma do AMN
50G1NA	50% de AMRG1T + 50% de AMN	
75G1NA	75% de AMRG1T + 25% de AMN	
100G1NA	100% de AMRG1T	
100G1GO	100% de AMRG1T	Ótima
25G2NA	25% de AMRG2T + 75% de AMN	Mesma do AMN
50G2NA	50% de AMRG2T + 50% de AMN	
75G2NA	75% de AMRG2T + 25% de AMN	
100G2NA	100% de AMRG2T	
100G2GO	100% de AMRG2T	Ótima
25G3NA	25% de AMRG3T + 75% de AMN	Mesma do AMN
50G3NA	50% de AMRG3T + 50% de AMN	
75G3NA	75% de AMRG3T + 25% de AMN	
100G3NA	100% de AMRG3T	
100G3GO	100% de AMRG3T	Ótima

## 5.5 AMOSTRAS E ENSAIOS REALIZADOS NA PESQUISA

As amostras possuíam formatos e dimensões variadas e os ensaios foram realizados em diferentes idades, conforme mostra a Tabela 5.13.

TABELA 5.13: Parâmetros adotados para os ensaios realizados nas misturas da pesquisa.

Ensaio	Idades (dias)	Dimensões do CP	Número de corpos de prova para cada idade e teor de AMRGT			
			AMN	AMRG1T	AMRG2T	AMRG3T
Resistência à compressão axial (NBR5739)	3, 7, 28, 90 e 120	(10x20) cm	6	6	6	6
Resistência à tração por compressão diametral (NBR7222)	3, 7, 28, 90 e 120	(10x20) cm	6	6	6	6
Resistência à tração na flexão (NBR12142)	28	(15x15x60) cm	3	3	3	3
Módulo de elasticidade (NBR8522)	28	(15x30) cm	3	3	3	3
Coefficiente de Poisson (NBR8522)	28	(15x30) cm	3	3	3	3
Absorção de água por imersão (NBR 9778)	28	(10x20) cm	3	3	3	3
Absorção de água por capilaridade (NBR 9779)	28	(10x20) cm	3	3	3	3
Consistência (NBR NM 67)	0	(10x20x30) cm	2	2	2	2
Exsudação (NBR 15558)	0	14,2 dm <sup>3</sup>	2	2	2	2
Massa especif. amostra seca (NBR 9778)	28	(10x20) cm	4	4	4	4
Retração hidráulica (NM 131)	3, 7, 28, 56, 90 e 180	(10x10x30) cm	4	4	4	4

Utilizando-se barras de argamassa, foi verificada a reatividade dos AMRGT's com os álcalis, conforme os parâmetros mostrados na Tabela 5.14.

TABELA 5.14: Parâmetros adotados para os ensaios de reatividade álcali-agregado realizados na pesquisa.

Ensaio	Leituras (dias de idades)	Dimensões do CP	Número de corpos de prova para o teor de 100% de AMRGT		
			AMRG1T	AMRG2T	AMRG3T
Reatividade álcali-agregado (NBR 15577-4)	2, 4, 8, 14, 16, 21, 24, 28 e 30	(2,5x2,5x28,5) cm	3	3	3

## 5.6 PROPRIEDADES DO CONCRETO NO ESTADO FRESCO, AVALIADAS NA PESQUISA

### 5.6.1 Consistência

A importância da trabalhabilidade em tecnologia do concreto é relevante, pois uma mistura de concreto que não possa ser facilmente lançada ou bem adensada certamente não fornecerá as características de resistência e durabilidade esperadas.

MEHTA e MONTEIRO (2008) salientam que a trabalhabilidade do concreto é composta de pelo menos dois componentes principais que são a fluidez que descreve a facilidade de mobilidade e a coesão que descreve a resistência à exsudação ou à segregação.

A trabalhabilidade não é uma propriedade intrínseca do concreto devendo estar relacionada ao:

- a) tipo de construção: por exemplo, um concreto que pode ser prontamente lançado em uma fundação maciça sem segregar, pode ser inadequado para uma peça estrutural fina;
- b) métodos de lançamento, adensamento e acabamento: por exemplo, um concreto considerado trabalhável quando se utilizam vibradores de alta frequência pode não ser trabalhável quando for usado adensamento manual.

Assim, devido à natureza composta, à dependência do tipo de construção e dos métodos de lançamento, adensamento e acabamento, nenhum método único de ensaio pode ser projetado para medir a trabalhabilidade do concreto (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

A consistência, medida pelo ensaio de abatimento do tronco de cone ou pelo aparelho de Vebe é usada como um simples índice da mobilidade ou da fluidez do concreto fresco.

Neste trabalho, as consistências de cada uma das misturas, foram avaliadas por meio do ensaio de abatimento do tronco de cone, preconizado pela NBR NM 67 (ABNT, 1998).

### 5.6.2 Exsudação

A exsudação é uma forma de segregação em que parte da água da mistura tende a subir para a superfície de um concreto fresco. Isto ocorre porque os constituintes sólidos da mistura são incapazes de reter a água quando tendem a descer, pois de todos os constituintes, a água é que tem a menor massa específica.

A norma NBR 15558 (ABNT, 2008) estabelece dois métodos para a determinação da exsudação do concreto:

- a) método A: se aplica a uma amostra consolidada apenas por compactação manual e ensaiada sem posterior vibração;
- b) método B: se aplica a uma amostra consolidada por vibração e ensaiada com períodos de vibração posteriores.

Na pesquisa utilizou-se o método A, cujo cálculo da água exsudada foi realizado pela seguinte expressão:

$$V = \frac{V_1}{A} \quad (5.1)$$

onde:

V – volume de água exsudada por área unitária de superfície (ml/cm<sup>2</sup>);

V<sub>1</sub> – volume de água exsudada medido durante um intervalo de tempo selecionado (ml);

A – área exposta do concreto do recipiente (cm<sup>2</sup>).

## 5.7 PROPRIEDADES DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO, AVALIADAS NA PESQUISA

### 5.7.1 Resistência à compressão axial simples

Fatores como propriedades e proporções dos materiais que compõe o traço, grau de adensamento e condições de cura, afetam a resposta do concreto às tensões aplicadas, pois interferem diretamente na porosidade dos diferentes componentes estruturais do concreto.

A relação água/cimento-porosidade é, indiscutivelmente, o fator mais importante do ponto de vista da resistência porque ela afeta a porosidade tanto da matriz (pasta de cimento) como da zona de transição entre a matriz e o agregado graúdo. A determinação direta dessa porosidade é impraticável por isso a dificuldade de se desenvolver modelos precisos de previsão da resistência do concreto (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

A descoberta de relações empíricas úteis, às quais, para fins práticos, fornecem dados indiretos suficientes sobre a influência de vários fatores na resistência à compressão, tem possibilitado amplo uso das mesmas como índices de todos os outros tipos de resistência.

Os corpos de prova, das misturas estudadas, foram moldados e curados seguindo as prescrições estabelecidas na NBR 5738 (ABNT, 2003). A resistência à compressão axial simples dos corpos de prova foi determinada aos 3, 7, 28, 90 e 120 dias, seguindo as prescrições da NBR 5739 (ABNT, 2007).

A resistência à compressão axial simples, de cada corpo de prova, foi calculada utilizando-se a seguinte expressão:

$$f_c = \frac{F}{A} \quad (5.2)$$

onde:

$f_c$  – resistência à compressão axial (MPa);

$F$  – força de ruptura (N);

$A$  – área da seção transversal do corpo de prova ( $\text{mm}^2$ ).

### **5.7.2 Resistência à tração por compressão diametral**

O concreto simples normalmente não é projetado para resistir à tração, mas o conhecimento dessa propriedade é útil para se estimar a carga à qual ocorre fissuração, pois a não ocorrência desse fenômeno é muito importante para a conservação da continuidade de uma estrutura de concreto e, em muitos casos, para a prevenção de corrosão da armadura (NEVILLE, 1997). A relação entre a resistência à tração uniaxial e a resistência à compressão pode variar em torno de 7% a 11% (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

O ensaio de tração por compressão diametral, conhecido internacionalmente como “Brazilian Test”, foi desenvolvido pelo pesquisador brasileiro Lobo Carneiro, sendo referenciado pela norma NBR 7222 (ABNT, 2011).

A ruptura do corpo de prova, no ensaio de tração por compressão diametral, ocorre por meio de um mecanismo principal e outro secundário.

O mecanismo principal é associado ao crescimento de fissura na região central do corpo de prova. O secundário, que ocorre após o aparecimento da fissura central, é associado ao desenvolvimento de fissuras secundárias em ambos os lados do cutelo e paralelamente à fissura central.

A Figura 5.8 ilustra os mecanismos de ruptura observados nos ensaios de tração por compressão diametral dos corpos de prova.



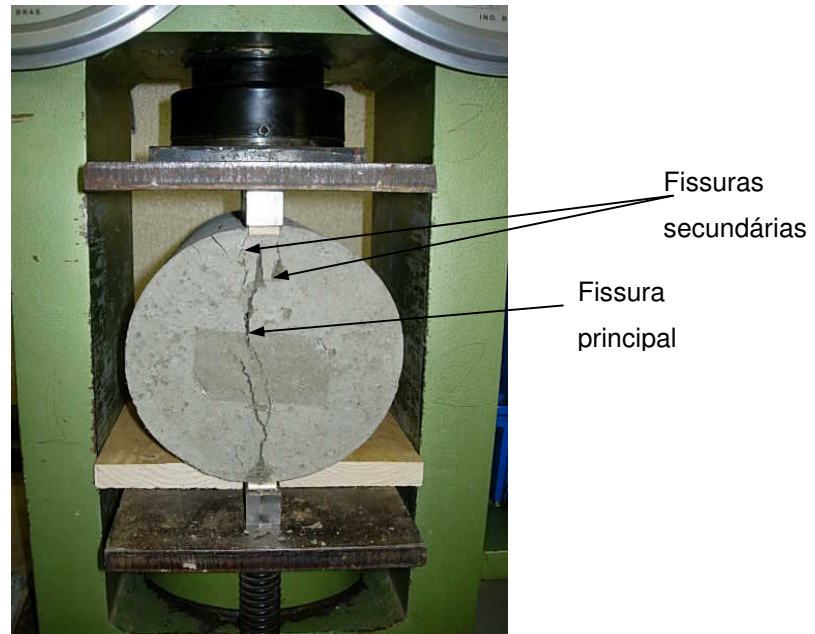


Figura 5.8: Mecanismos de rupturas observados no ensaio de tração por compressão diametral.

Os corpos de prova, das misturas pesquisadas, foram moldados e curados de acordo com o estabelecido na NBR 5738 (ABNT, 2003) e ensaiados à tração por compressão diametral, seguindo as recomendações da NBR 7222 (ABNT, 2011), aos 3, 7, 28, 90 e 120 dias de idade.

O cálculo da resistência à tração por compressão diametral foi efetuado utilizando-se a seguinte expressão:

$$f_t = \frac{2F}{\pi d \ell} \quad (5.3)$$

onde:

$f_t$  – resistência à tração por compressão diametral expressa com três algarismos significativos (MPa);

$F$  – força máxima obtida no ensaio (N);

$d$  – diâmetro do corpo de prova (mm);

$\ell$  – comprimento do corpo de prova (mm).

### 5.7.3 Resistência à tração na flexão

Neste ensaio, um corpo de prova prismático de concreto simples é submetido à flexão em dois pontos simétricos até a ruptura. A distância entre os pontos de carregamento é igual a um terço do vão, por isso o ensaio é qualificado como “carregamento nos terços” e a tensão de tração máxima, atingida na borda inferior do prisma, é denominada módulo de ruptura.

Os ensaios para determinação da resistência à tração na flexão foram realizados em corpos de prova prismáticos com 28 dias de idade, de acordo com o estabelecido na NBR 12142 (ABNT, 2010).

As seções de ruptura dos corpos de prova da pesquisa ocorreram no terço central do vão, sendo a tensão de ruptura por tração na flexão calculada pela seguinte expressão:

$$f_{tf} = \frac{F \ell}{b d^2} \quad (5.4)$$

onde:

$f_{tf}$  – resistência à tração na flexão (MPa);

$F$  – força máxima aplicada (N);

$\ell$  – dimensão do vão entre apoios (mm);

$b$  – largura média do corpo de prova (mm);

$d$  – altura média do corpo de prova (mm).

Salienta-se que neste trabalho, a dimensão do vão entre apoios foi de 450 mm.

A Figura 5.9 ilustra o aspecto da ruptura ocorrida no corpo de prova submetido ao ensaio de tração na flexão.



Figura 5.9: Aspecto da ruptura ocorrida no corpo de prova no ensaio de tração na flexão.

#### 5.7.4 Módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson

A norma NBR 8522 (ABNT, 2008) menciona que a propriedade do concreto cujo valor numérico é o coeficiente angular da reta secante ao diagrama tensão-deformação, passando pelos pontos correspondentes à tensão  $\sigma_a$  e à tensão considerada no ensaio, conforme ilustrada na Figura 5.10, é chamada de módulo de deformação secante ( $E_{cs}$ ).

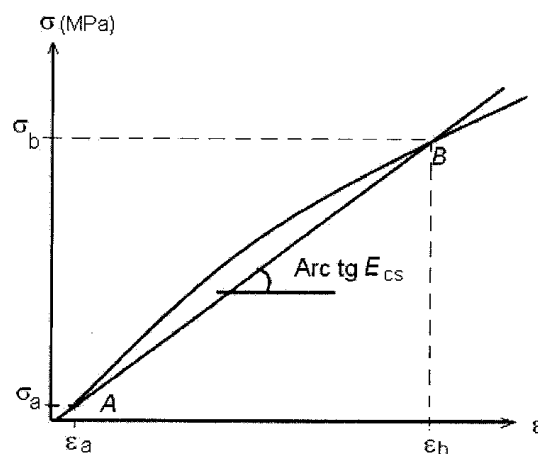


Figura 5.10: Representação esquemática do módulo de deformação secante

Fonte: (NBR 8522 (ABNT, 2008)).

O módulo de elasticidade ou módulo de deformação tangente à origem ou inicial, é considerado equivalente ao módulo de deformação secante ou cordal entre

$\sigma_a$  e  $30\% f_c$ , conforme ilustrado na Figura 5.11, para o carregamento estabelecido no método de ensaio da norma NBR 8522 (ABNT, 2008).

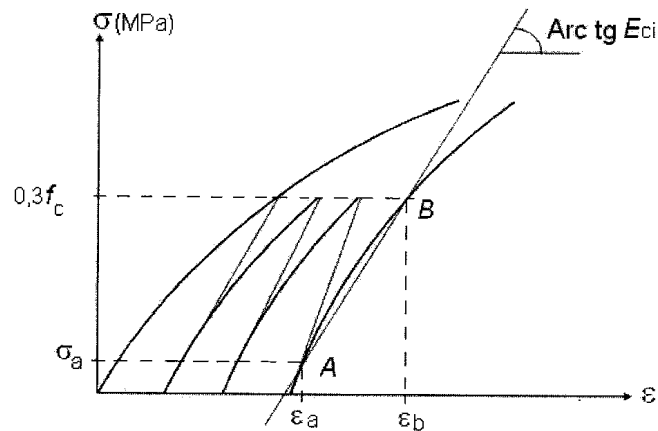


Figura 5.11: Representação esquemática do módulo de elasticidade ou módulo de deformação tangente inicial ( $E_{ci}$ )

Fonte: (NBR 8522 (ABNT, 2008)).

Os corpos de prova para determinação do módulo de elasticidade e do coeficiente de Poisson foram moldados e curados de acordo com as especificações da NBR 5738 (ABNT, 2003).

Os ensaios para a determinação do módulo de elasticidade e do coeficiente de Poisson, de cada uma das misturas, foram realizados, aos 28 dias de idade, seguindo as especificações da norma NBR 8522 (ABNT, 2008) utilizando-se medidor de deformação (compressômetro) de bases dependentes, acoplado com medidor de deformação transversal para determinação do coeficiente de Poisson, conforme ilustra a Figura 5.12.

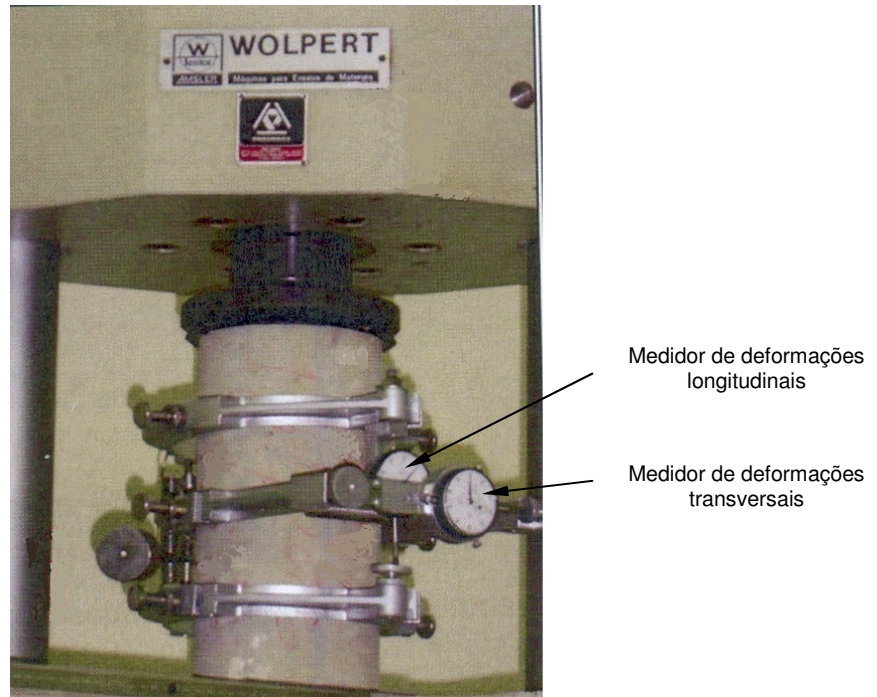


Figura 5.12: Ensaio para determinação do módulo de elasticidade e do coeficiente de Poisson.

O módulo de elasticidade foi calculado pela seguinte expressão:

$$E_{ci} = \frac{\sigma_b - \sigma_a}{\epsilon_b - \epsilon_a} \times 10^{-3} \quad (5.5)$$

onde:

$E_{ci}$  – módulo de elasticidade (GPa);

$\sigma_b$  – tensão maior igual a  $0,3 f_c$  (MPa);

$\sigma_a$  – tensão básica igual a  $0,5$  MPa;

$\epsilon_b$  – deformação específica média dos corpos de prova ensaiados sob a tensão maior;

$\epsilon_a$  – deformação específica média dos corpos de prova ensaiados sob a tensão básica.

O coeficiente de Poisson foi calculado pela seguinte expressão:

$$\mu = \frac{\varepsilon_{tf} - \varepsilon_{ti}}{\varepsilon_{lf} - \varepsilon_{li}} \quad (5.6)$$

onde:

$\mu$  – coeficiente de Poisson;

$\varepsilon_{tf}$  – deformação transversal específica final, para 30% da tensão de ruptura;

$\varepsilon_{ti}$  – deformação transversal específica inicial, com tensão de 0,5 MPa;

$\varepsilon_{lf}$  – deformação longitudinal específica final, para 30% da tensão de ruptura;

$\varepsilon_{li}$  – deformação longitudinal específica inicial, com tensão de 0,5 MPa.

### **5.7.5 Absorção de água por imersão, índice de vazios e massa específica da amostra seca**

A absorção de água é importante para avaliar a porosidade do concreto, pois essa última está associada a outras propriedades do concreto como a massa específica, a resistência, a durabilidade, etc.

A absorção de água por imersão é o processo pelo qual a água é conduzida e tende a ocupar os poros permeáveis de um corpo sólido poroso. É calculada como o incremento de massa de um corpo sólido poroso devido à penetração de água em seus poros permeáveis, em relação à sua massa em estado seco.

Os corpos de prova para determinação da absorção de água por imersão, do índice de vazios e da massa específica da amostra seca foram moldados e curados de acordo com as prescrições da NBR 5738 (ABNT, 2003).

Os ensaios para determinação da absorção de água por imersão, do índice de vazios e da massa específica da amostra seca, de cada uma das misturas, iniciaram quando os corpos de prova completaram 28 dias de idade, utilizando-se a norma NBR 9778 (ABNT, 2009) que estabelece, para argamassa e concreto endurecidos, o cálculo da absorção de água por imersão, de acordo com a seguinte expressão:

$$A = \frac{m_{\text{sat}} - m_s}{m_s} \times 100 \quad (5.7)$$

onde:

A – absorção de água por imersão (%);

$m_{\text{sat}}$  – massa da amostra saturada em água após imersão e fervura (g);

$m_s$  – massa da amostra seca em estufa (g).

O índice de vazios é calculado pela seguinte expressão:

$$I_v = \frac{m_{\text{sat}} - m_s}{m_{\text{sat}} - m_i} \times 100 \quad (5.8)$$

onde:

$I_v$  – índice de vazios (%);

$m_{\text{sat}}$  – massa da amostra saturada em água após imersão e fervura (g);

$m_s$  – massa da amostra seca em estufa (g);

$m_i$  – massa da amostra saturada imersa em água após fervura (g).

A massa específica da amostra seca é calculada pela seguinte expressão:

$$\rho_s = \frac{m_s}{m_{\text{sat}} - m_i} \quad (5.9)$$

onde:

$\rho_s$  – massa específica da amostra seca (segundo a NBR 9778 (ABNT, 2009) a massa específica pode ser expressa em  $\text{g}/\text{cm}^3$  ou ser adimensional);

$m_s$  – massa da amostra seca em estufa (g);

$m_{\text{sat}}$  – massa da amostra saturada em água após imersão e fervura (g);

$m_i$  – massa da amostra saturada imersa em água após fervura (g).

### 5.7.6 Absorção de água por capilaridade

A moldagem e a cura dos corpos de prova para o ensaio de absorção de água por capilaridade foi executada de acordo com as recomendações de NBR 5738 (ABNT, 2003).

Os ensaios para determinação da absorção de água por capilaridade, de cada uma das misturas, iniciaram quando os corpos de prova completaram 28 dias de idade, seguindo o método prescrito pela NBR 9779 (ABNT, 1995). A absorção de água por capilaridade foi calculada de acordo com a seguinte expressão:

$$C = \frac{A - B}{S} \quad (5.10)$$

onde:

C – absorção de água por capilaridade (g/cm<sup>2</sup>);

A – massa do corpo de prova que permanece com uma das faces em contato com a água, durante 3, 6, 24, 48 e 72 horas (g);

B – massa do corpo de prova seco, assim que este atingir a temperatura de (23 ± 2)<sup>o</sup>

C (g);

S – área da seção transversal (cm<sup>2</sup>).

### 5.7.7 Retração hidráulica

A retração hidráulica ou por secagem é uma redução de volume que ocorre devido à remoção da água adsorvida e possivelmente da água intercrystalina, do concreto, conservado em ar não saturado (NEVILLE, 1997).

As medidas desse tipo de retração foram determinadas, em corpos de prova prismáticos com dimensões de 10 cm x 10 cm x 30 cm, utilizando-se comparador mecânico horizontal, de acordo com o procedimento preconizado pela NM 131 (ABNT, 1998).

Os limitadores, para medição das retrações, foram posicionados nos corpos de prova logo após o término das moldagens dos mesmos. As medidas das



retrações foram feitas com 3, 7, 28, 56, 90 e 180 dias, a partir das datas de moldagens dos corpos de prova.

A retração hidráulica, expressa em porcentagem, foi obtida pela expressão:

$$\Delta L = \frac{\Delta L_x - \Delta L_i}{L_g} \times 100 \quad (5.11)$$

onde:

$\Delta L$  – variação de comprimento à idade  $x$  (%);

$\Delta L_x$  – leitura do comprimento com o corpo de prova na idade  $x$  (mm);

$\Delta L_i$  – leitura inicial (mm);

$L_g$  – base de medida, em função do tipo de comparador utilizado (mm).

## 5.8 REATIVIDADE ÁLCALI-AGREGADO

Vários são os métodos para a verificação da reatividade álcali-agregado tais como: análise petrográfica, método químico, método das barras, método acelerado para a determinação da expansão em barras de argamassa e método para determinação da expansão em prismas de concreto.

A reatividade álcali-agregado foi verificada por meio da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado, conforme preconiza a NBR 15577-4 (ABNT, 2008). Esse método além de ser rápido e eficiente, possibilita também a avaliação da expansão devido à substituição parcial do cimento por materiais adjuvantes (ANDRADE, 1997).

A expansão de cada barra de argamassa, numa determinada idade, representa a diferença entre o seu comprimento na idade considerada e seu comprimento inicial (leitura zero), expressa em porcentagem do comprimento efetivo de medida (NBR 15577-4).

As Figuras 5.13 a 5.16 ilustram alguns dispositivos utilizados, neste trabalho, para a realização do ensaio de reatividade álcali-agregado.

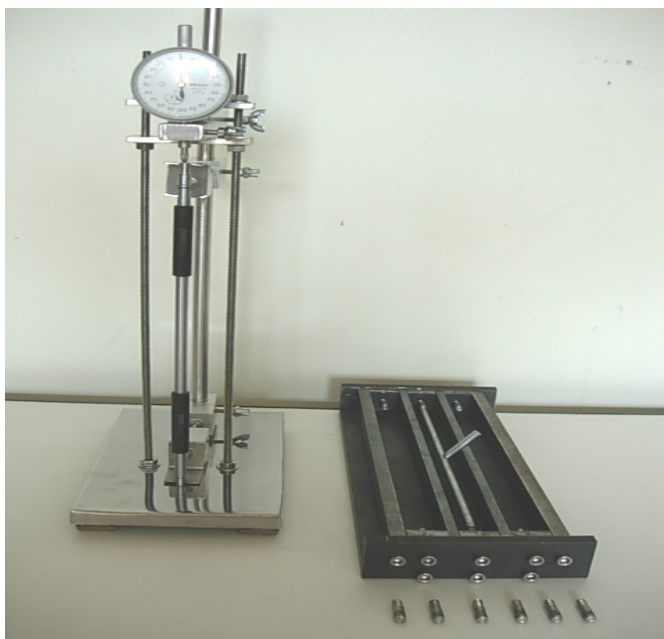


Figura 5.13: Comparador de comprimentos com a barra-padrão, molde de aço e pinos de aço inox utilizados no ensaio de RAA.

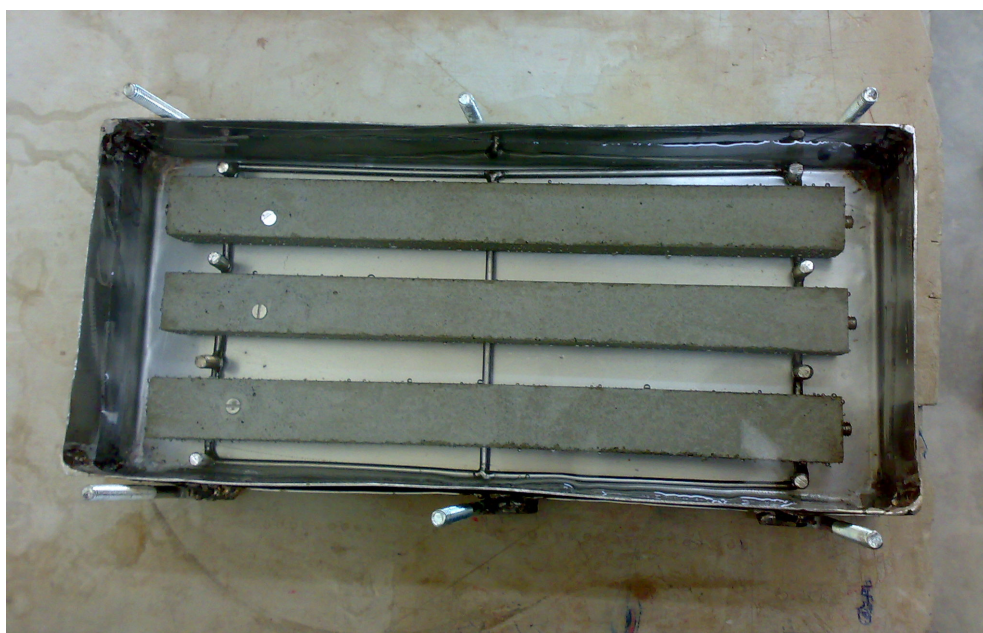


Figura 5.14: Recipiente de aço inox contendo as barras de argamassa imersas em solução de hidróxido de sódio (1,0 M), no ensaio de RAA.



Figura 5.15: Recipientes contendo barras de argamassa imersas em solução de hidróxido de sódio (1,0 M) e colocados em estufa ventilada, a 80 °C, no ensaio de RAA.



Figura 5.16: Medição da expansão do comprimento da barra de argamassa, no ensaio de RAA.

## 6 RESULTADOS E ANÁLISES

### 6.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A avaliação da aceitabilidade dos resultados de um experimento pode ser feita pelo coeficiente de variação (CV) que é uma análise estatística preliminar empregada quando se deseja comparar a variabilidade de várias amostras com médias diferentes, ou quando as variáveis aleatórias têm dimensões diferentes. Se o valor do CV é menor ou igual a 25%, os resultados são, em geral, considerados aceitáveis.

A influência de diversas variáveis nas propriedades dos concretos no estado endurecido pode ser verificada por meio de análises estatísticas utilizando-se ferramentas como a ANOVA que, segundo RIBEIRO (1995), permite verificar a influência das variáveis dentro de seu grupo e entre os grupos, por meio da média geral e dos erros envolvidos. A verificação da significância de uma determinada variável ou grupo de variáveis é comprovada com a comparação entre um valor calculado ( $F_0$ ) e valores tabelados ( $F_\alpha$ ) (distribuição de probabilidades de Fischer). A influência será considerada significativa, quando o valor  $F_0$  for maior que o  $F_\alpha$ , sendo adotado um nível de significância igual a 5%. Esta análise pode ser realizada por meio da planilha eletrônica Excel, onde encontra-se a ferramenta ANOVA.

Cumprido salientar que os resultados individuais (por corpo de prova) dos ensaios das misturas no estado endurecido, encontram-se no Anexo B.

### 6.2 ENSAIO DE CONSISTÊNCIA

A consistência de cada uma das misturas (concretos) foi avaliada por meio do ensaio de abatimento do tronco de cone. Todos os ensaios foram realizados sem

que se observasse a desagregação do concreto ou a exsudação excessiva da água da mistura.

A Tabela 6.1 mostra os valores dos abatimentos das misturas confeccionadas para a pesquisa.

TABELA 6.1: Abatimentos médios encontrados nas misturas.

Nomenclatura da mistura	Abatimento (mm)
0GNA (mistura ou concreto de referência)	80,0
25G1NA	85,0
50G1NA	90,0
75G1NA	95,0
100G1NA	100,0
100G1GO	95,0
25G2NA	80,0
50G2NA	85,0
75G2NA	90,0
100G2NA	95,0
100G2GO	90,0
25G3NA	90,0
50G3NA	95,0
75G3NA	100,0
100G3NA	110,0
100G3GO	100,0

Para melhor visualização, a Figura 6.1 ilustra os valores dos abatimentos médios encontrados nas misturas.

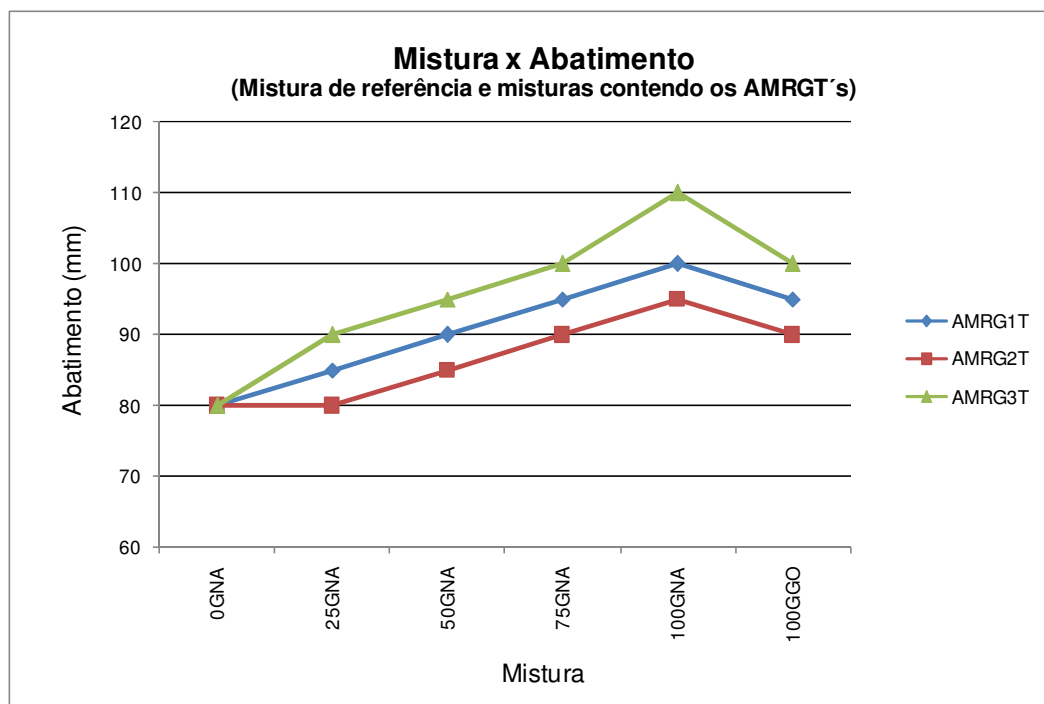


Figura 6.1: Abatimentos das misturas estudadas.

Os dados da Tabela 6.1 ou da Figura 6.1 permitem constatar que há diminuição das consistências, ou seja, incrementos nos abatimentos à medida que aumentam os teores de AMRGT's nas misturas.

A forma e a textura das partículas dos agregados influenciam mais as propriedades do concreto no estado fresco do que no endurecido. Comparadas às partículas lisas e arredondadas, as partículas de textura áspera, angulosas (caso das britadas ou trituradas) e alongadas requerem mais pasta de cimento para produzirem misturas trabalháveis (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

A consistência das misturas contendo os AMRGT's foi influenciada por dois fatores:

- a) pelas menores absorções de água das misturas pelos AMRGT's, em relação ao AMN, que possibilitaram uma maior fluidez das misturas diminuindo as suas consistências, ou seja, aumentando o abatimento das mesmas;
- b) pela forma angulosa e textura áspera das superfícies dos grãos dos AMRGT's que dificultaram o abatimento das misturas.

Apesar da forma angulosa e da textura áspera dos grãos dos AMRGT's, as misturas confeccionadas com esses agregados, apresentaram maiores abatimentos,

em relação ao concreto confeccionado com 100% de AMN (concreto ou mistura de referência), salientando a influência das menores absorções de água, por esses agregados, no incremento dos abatimentos.

Comparando-se as misturas contendo os mesmos percentuais de AMRGT's, os abatimentos das misturas contendo o AMRG2T foram menores em relação aos abatimentos das misturas contendo os outros dois tipos de AMRGT's, devido à maior aspereza das superfícies dos grãos desse agregado, em razão da maior porosidade da rocha de origem. Pelo mesmo motivo, os abatimentos das misturas contendo o AMRG1T foram menores em relação ao abatimento das misturas contendo o AMRG3T.

As misturas contendo 100% de AMRGT's, na granulometria ótima (GO), apresentaram uma pequena diminuição nos abatimentos em relação às misturas contendo 100% de AMRGT's na granulometria NA, devido à melhor distribuição granulométrica que proporcionou melhor intertravamento entre os grãos com consequente diminuição da mobilidade entre os mesmos.

### 6.3 ENSAIO DE EXSUDAÇÃO

A Figura 6.2 ilustra os valores médios das exsudações obtidas nos ensaios.

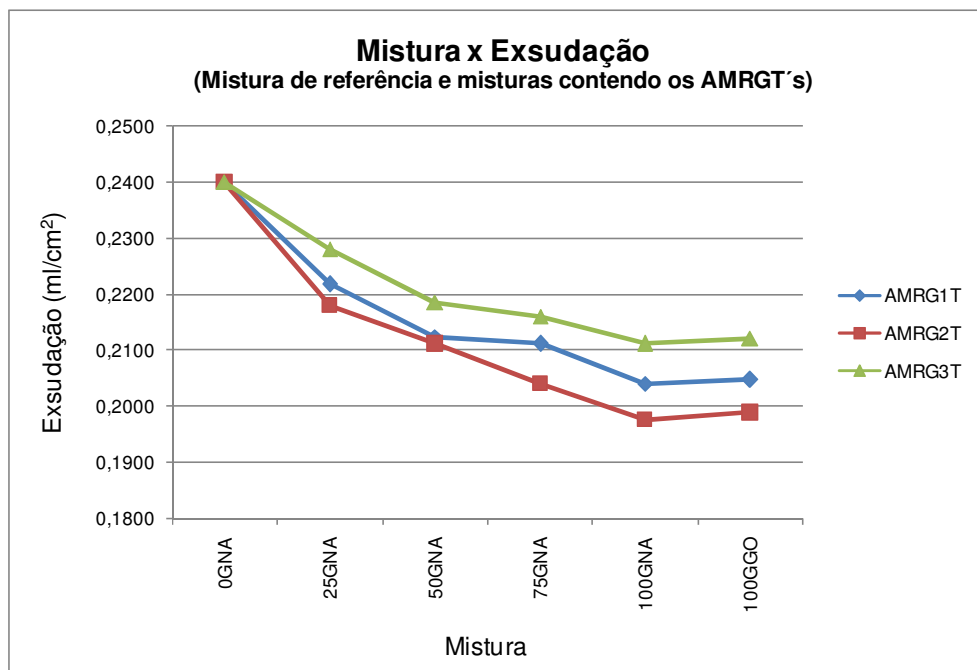


Figura 6.2: Exsudações das misturas estudadas.

As misturas contendo os AMRGT's apresentaram menores exsudações do que a mistura de referência devido à maior quantidade, em relação ao AMN, de material pulverulento presente em cada um dos AMRGT's, que serviu de barreira física impedindo, em parte, o movimento ascendente da água até a superfície.

Também por essa razão, comparando-se as misturas contendo os mesmos percentuais de AMRGT's, as misturas contendo o AMRG2T apresentaram menores exsudações do que as misturas contendo o AMRG1T ou o AMRG3T.

#### 6.4 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL SIMPLES

As médias dos resultados individuais dos ensaios de resistência à compressão axial simples foram obtidas ensaiando-se seis corpos de prova para cada uma das misturas pesquisadas, nas idades de 3, 7, 28, 90 e 120 dias, conforme constam nas Tabelas 6.2 a 6.4.

TABELA 6.2: Médias dos resultados individuais obtidos nos ensaios de resistência à compressão axial simples da mistura de referência e das misturas contendo diferentes teores de AMRG1T.

Mistura	3 dias		7 dias		28 dias		90 dias		120 dias	
	$f_{c3}$ (MPa)	CV (%)	$f_{c7}$ (MPa)	CV (%)	$f_{c28}$ (MPa)	CV (%)	$f_{c90}$ (MPa)	CV (%)	$f_{c120}$ (MPa)	CV (%)
0GNA	13,89	4,57	20,58	2,53	26,47	3,52	27,63	2,68	28,05	1,04
25G1NA	15,69	4,19	21,19	1,55	27,53	3,34	28,73	3,56	29,31	1,75
50G1NA	16,81	4,36	22,63	3,70	27,79	1,96	29,56	3,85	30,29	1,60
75G1NA	18,61	3,20	23,66	2,64	28,85	3,59	30,39	3,81	30,85	3,21
100G1NA	15,97	2,53	21,40	2,19	27,26	3,30	29,01	2,98	29,45	3,54
100G1GO	17,56	2,66	23,10	3,00	28,56	3,37	29,93	3,23	30,55	1,59

onde:

$f_{c3}$  – resistência média à compressão aos 3 dias de idade;

$f_{c7}$  – resistência média à compressão aos 7 dias de idade;

$f_{c28}$  – resistência média à compressão aos 28 dias de idade;

$f_{c90}$  – resistência média à compressão aos 90 dias de idade;

$f_{c120}$  – resistência média à compressão aos 120 dias de idade.



TABELA 6.3: Médias dos resultados individuais obtidos nos ensaios de resistência à compressão axial simples da mistura de referência e das misturas contendo diferentes teores de AMRG2T.

Mistura	3 dias		7 dias		28 dias		90 dias		120 dias	
	$f_{c3}$ (MPa)	CV (%)	$f_{c7}$ (MPa)	CV (%)	$f_{c28}$ (MPa)	CV (%)	$f_{c90}$ (MPa)	CV (%)	$f_{c120}$ (MPa)	CV (%)
0GNA	13,89	4,57	20,58	2,53	26,47	3,52	27,63	2,68	28,05	1,04
25G2NA	16,67	3,44	22,63	3,16	28,05	2,64	29,01	3,24	29,73	4,28
50G2NA	17,64	2,87	23,46	3,26	28,58	3,21	29,84	2,73	30,01	4,21
75G2NA	20,28	2,76	24,48	4,83	29,11	2,34	30,98	3,58	31,41	3,19
100G2NA	14,48	5,11	20,16	4,16	25,94	2,01	27,35	3,60	27,77	2,65
100G2GO	18,04	2,76	23,75	2,72	28,72	3,17	30,35	2,84	30,88	2,68

TABELA 6.4: Médias dos resultados individuais obtidos nos ensaios de resistência à compressão axial simples da mistura de referência e das misturas contendo diferentes teores de AMRG3T.

Mistura	3 dias		7 dias		28 dias		90 dias		120 dias	
	$f_{c3}$ (MPa)	CV (%)	$f_{c7}$ (MPa)	CV (%)	$f_{c28}$ (MPa)	CV (%)	$f_{c90}$ (MPa)	CV (%)	$f_{c120}$ (MPa)	CV (%)
0GNA	13,89	4,57	20,58	2,53	26,47	3,52	27,63	2,68	28,05	1,04
25G3NA	14,72	3,20	20,78	2,71	26,73	3,00	27,90	1,90	28,61	2,77
50G3NA	15,56	3,50	22,02	3,01	27,26	2,19	28,46	2,60	29,33	1,06
75G3NA	16,39	2,70	22,43	3,81	27,79	2,16	29,28	2,52	29,70	2,08
100G3NA	17,36	2,80	23,04	1,78	28,32	3,37	29,56	3,16	30,23	2,29
100G3GO	17,85	4,35	23,95	3,91	29,52	3,21	30,38	2,52	30,73	3,04

Nas Tabelas 6.2 a 6.4 verifica-se que todos os resultados obtidos nos ensaios apresentaram coeficientes de variação menores do que 25%, por isso todos são aceitáveis.

As Figuras 6.3 a 6.5 ilustram os valores, mostrados nas Tabelas 6.2 a 6.4, referentes à variação da resistência à compressão axial simples em função da idade, para cada uma das misturas pesquisadas.

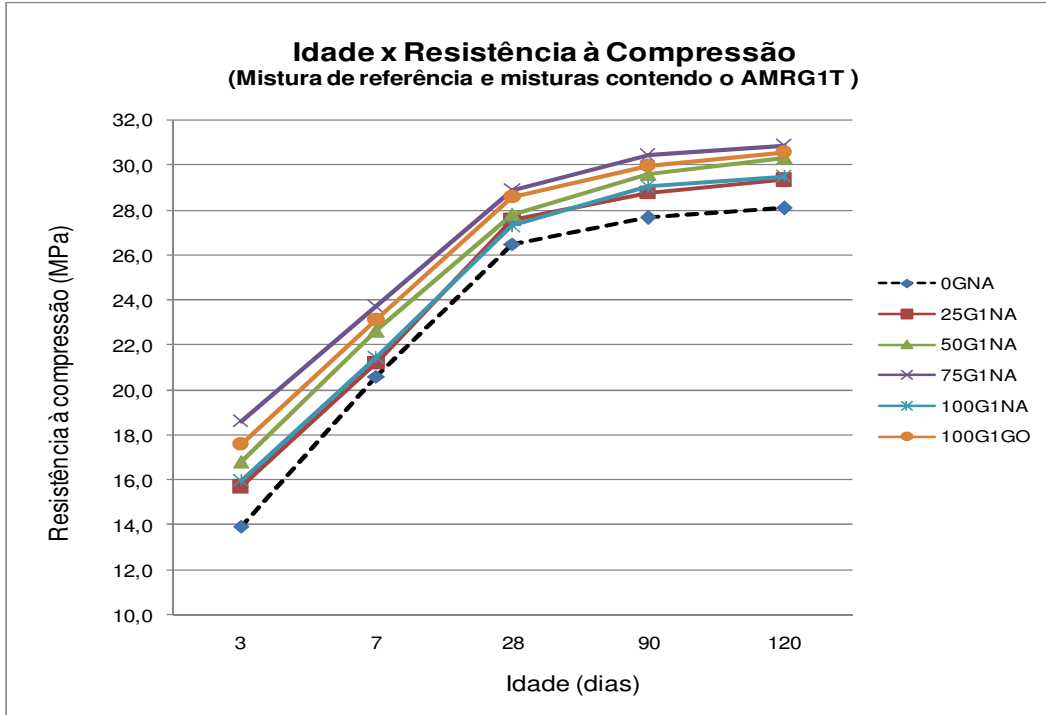


Figura 6.3: Resistência à compressão axial simples - mistura de referência x misturas contendo o AMRG1T.



Figura 6.4: Resistência à compressão axial simples - mistura de referência x misturas contendo o AMRG2T.

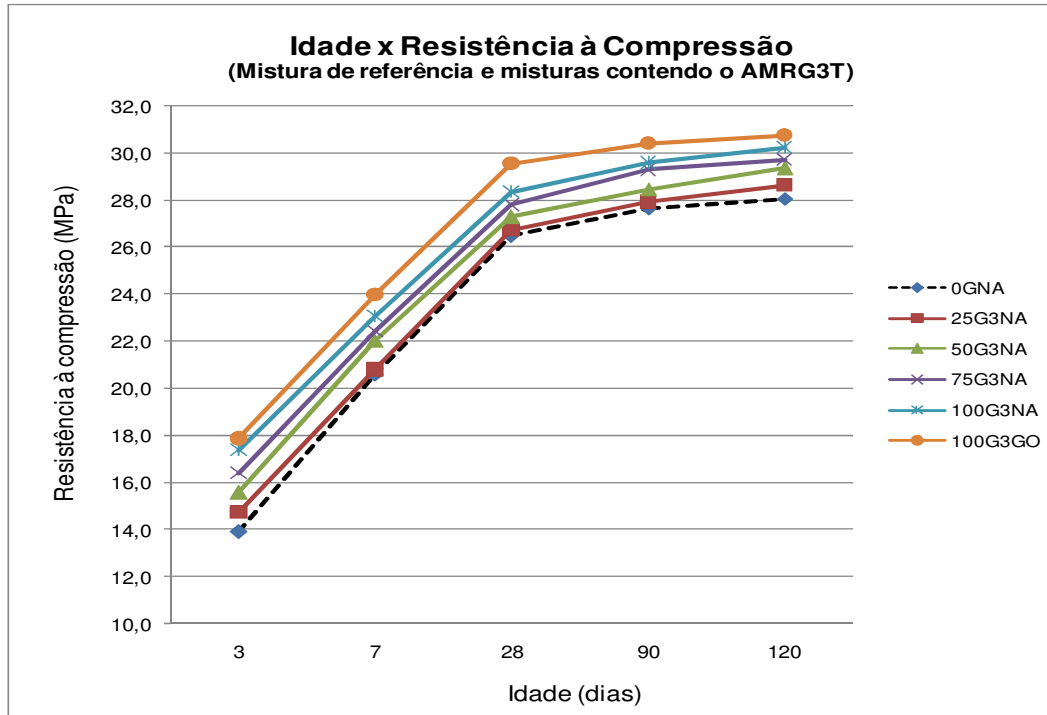


Figura 6.5: Resistência à compressão axial simples - mistura de referência x misturas contendo o AMRG3T.

De acordo com as Tabelas 5.2, 5.5 e 5.8, deste trabalho, o granito 02 é o que apresenta a maior porosidade, seguido pelos granitos 01 e 03. Observou-se que quanto mais poroso é o granito, mais áspera é a sua textura superficial após a trituração.

MEHTA e MONTEIRO (2008) salientam que a forma e a textura superficial do agregado influenciam as características da zona de transição entre a pasta de cimento e o agregado e, portanto a resistência do concreto. Menciona ainda que os concretos confeccionados com agregados britados ou triturados apresentam resistência superior aos concretos confeccionados com areia natural, pois esses agregados têm formas angulosas e textura mais rugosa do que os grãos arredondados e lisos da areia natural, proporcionando melhor intertravamento e maior aderência com a pasta de cimento com conseqüente diminuição da microfissuração na interface agregado-pasta de cimento.

Por essa razão, as misturas contendo os AMRG3T's apresentaram maiores valores de resistência à compressão axial, do que a mistura de referência, destacando-se até o teor de 75% de AMRG3T's, as misturas contendo o AMRG2T, seguidas, respectivamente, pelas misturas contendo o AMRG1T e pelas misturas

contendo o AMRG3T.

As misturas 100G1NA, 100G1GO, 100G2NA e 100G2GO apresentaram diminuição nos valores da resistência à compressão axial, em relação a algumas misturas contendo menores teores de AMRG1T ou de AMRG2T, pois, as baixas absorções de água por esses agregados, disponibilizaram maiores quantidades de água nas misturas aumentando, de maneira excessiva, as porosidades das matrizes das pastas de cimento ou das zonas de transição entre os agregados e as pastas de cimento, com conseqüente diminuição dessa resistência.

As misturas confeccionadas com 100% de AMRGT's, na GO, apresentaram valores de resistência à compressão axial superiores às confeccionadas com 100% de AMRGT's na granulometria NA, pois na GO os AMRGT's possuíam melhor distribuição granulométrica resultando em misturas mais compactas com menor teor de ar aprisionado comprovado pelo aumento das massas específicas no estado endurecido.

A fim de se verificar a influência da variável (teor de AMRGT) nas misturas elaboradas, efetuou-se uma análise estatística, por meio da ferramenta ANOVA, das médias dos resultados individuais encontrados nos ensaios de resistência à compressão axial. A Tabela 6.5 mostra os valores encontrados para os fatores  $F_0$  e  $F_\alpha$ .

TABELA 6.5: Valores de  $F_0$  e  $F_\alpha$  encontrados na análise estatística das médias dos resultados individuais dos ensaios de resistência à compressão axial, devido à influência do teor de AMRGT.

Fator	Misturas contendo teores variáveis de AMRG1T	Misturas contendo teores variáveis de AMRG2T	Misturas contendo teores variáveis de AMRG3T
$F_0$	46,28	50,04	64,20
$F_\alpha$	3,01	3,01	3,01

Constata-se por meio da Tabela 6.5 que todos os valores de  $F_0$  são superiores ao de  $F_\alpha$ , indicando que houve influência significativa dos teores de AMRGT's na resistência à compressão axial de todas as misturas de concreto.

## 6.5 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

As Tabelas 6.6 a 6.8 mostram as médias dos resultados individuais dos ensaios de resistência à tração por compressão diametral, de cada mistura, que foram obtidos ensaiando-se seis corpos de prova para cada idade (3, 7, 28, 90 e 120 dias).

TABELA 6.6: Médias dos resultados individuais obtidos nos ensaios de resistência à tração por compressão diametral da mistura de referência e das misturas contendo diferentes teores de AMRG1T.

Mistura	3 dias		7 dias		28 dias		90 dias		120 dias	
	$f_{t3}$ (MPa)	CV (%)	$f_{t7}$ (MPa)	CV (%)	$f_{t28}$ (MPa)	CV (%)	$f_{t90}$ (MPa)	CV (%)	$f_{t120}$ (MPa)	CV (%)
0GNA	1,91	2,90	2,37	3,68	2,94	3,42	3,13	2,14	3,19	2,76
25G1NA	1,94	2,12	2,44	3,08	3,01	1,52	3,19	1,83	3,25	3,48
50G1NA	2,03	2,56	2,64	2,26	3,23	2,01	3,43	3,81	3,48	2,19
75G1NA	2,06	2,55	2,71	2,18	3,32	2,71	3,52	1,23	3,60	2,97
100G1NA	1,99	3,27	2,49	4,80	3,06	2,28	3,22	2,03	3,32	3,49
100G1GO	2,06	3,31	2,61	3,06	3,18	2,33	3,40	2,77	3,44	3,78

onde:

$f_{t3}$  – resistência média à tração por compressão diametral aos 3 dias de idade;

$f_{t7}$  – resistência média à tração por compressão diametral aos 7 dias de idade;

$f_{t28}$  – resistência média à tração por compressão diametral aos 28 dias de idade;

$f_{t90}$  – resistência média à tração por compressão diametral aos 90 dias de idade;

$f_{t120}$  – resistência média à tração por compressão diametral aos 120 dias de idade.

TABELA 6.7: Médias dos resultados individuais obtidos nos ensaios de resistência à tração por compressão diametral da mistura de referência e das misturas contendo diferentes teores de AMRG2T.

Mistura	3 dias		7 dias		28 dias		90 dias		120 dias	
	$f_{t3}$ (MPa)	CV (%)	$f_{t7}$ (MPa)	CV (%)	$f_{t28}$ (MPa)	CV (%)	$f_{t90}$ (MPa)	CV (%)	$f_{t120}$ (MPa)	CV (%)
0GNA	1,91	2,90	2,37	3,68	2,94	3,42	3,13	2,14	3,19	2,76
25G2NA	2,10	3,55	2,56	2,55	3,09	2,89	3,26	3,35	3,32	3,19
50G2NA	2,24	2,57	2,77	2,79	3,35	1,91	3,47	2,16	3,48	2,60
75G2NA	2,32	2,51	2,82	2,31	3,44	2,89	3,54	2,74	3,57	3,58
100G2NA	2,16	2,57	2,68	3,92	3,20	3,12	3,35	3,61	3,38	2,49
100G2GO	2,30	1,91	2,85	2,67	3,38	4,12	3,50	3,71	3,52	2,61

TABELA 6.8: Médias dos resultados individuais obtidos nos ensaios de resistência à tração por compressão diametral da mistura de referência e das misturas contendo diferentes teores de AMRG3T.

Mistura	3 dias		7 dias		28 dias		90 dias		120 dias	
	$f_{t3}$ (MPa)	CV (%)	$f_{t7}$ (MPa)	CV (%)	$f_{t28}$ (MPa)	CV (%)	$f_{t90}$ (MPa)	CV (%)	$f_{t120}$ (MPa)	CV (%)
0GNA	1,91	2,90	2,37	3,68	2,94	3,42	3,13	2,14	3,19	2,76
25G3NA	2,03	2,87	2,52	2,27	3,05	2,72	3,22	3,32	3,28	2,36
50G3NA	2,10	3,43	2,63	2,12	3,17	3,15	3,35	2,91	3,40	3,54
75G3NA	2,17	2,85	2,68	1,88	3,23	3,54	3,40	2,88	3,46	2,55
100G3NA	2,22	1,68	2,77	3,04	3,38	1,87	3,50	3,00	3,55	2,26
100G3GO	2,37	3,12	2,96	4,49	3,60	3,31	3,69	2,93	3,72	3,74

Nas Tabelas 6.6 a 6.8 verifica-se que todos os resultados são aceitáveis, pois apresentaram coeficientes de variação menores do que 25%.

As Figuras 6.6 a 6.8 ilustram os valores, mostrados nas Tabelas 6.6 a 6.8, referentes à variação da resistência à tração por compressão diametral em função da idade, para cada uma das misturas pesquisadas.

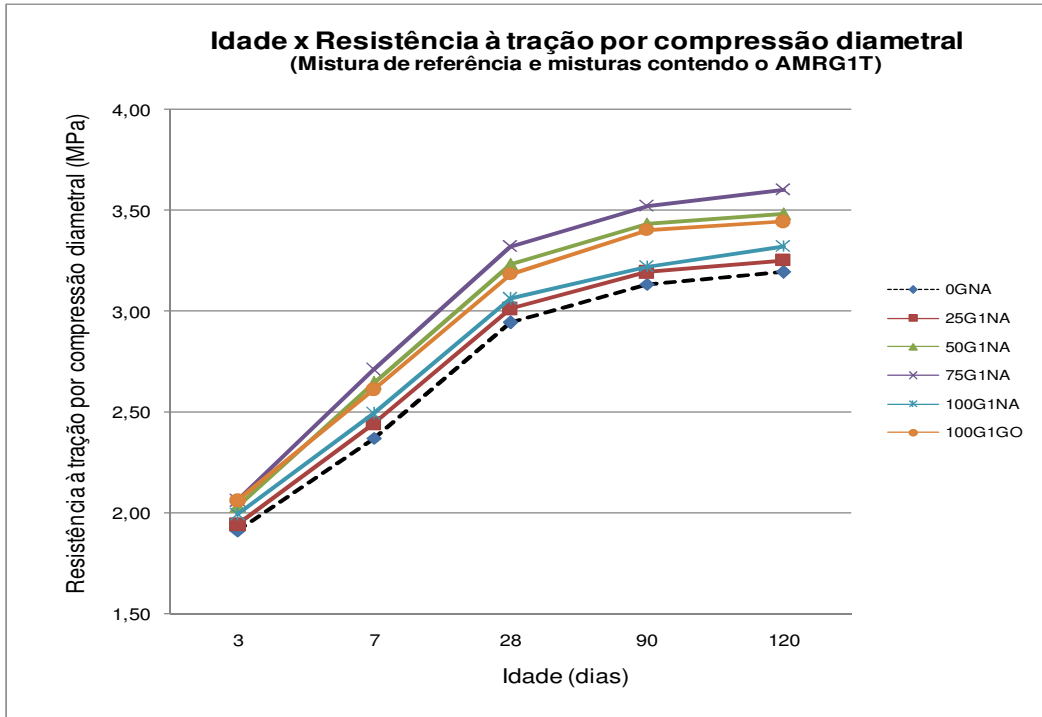


Figura 6.6: Resistência à tração por compressão diametral - mistura de referência x misturas contendo o AMRG1T.

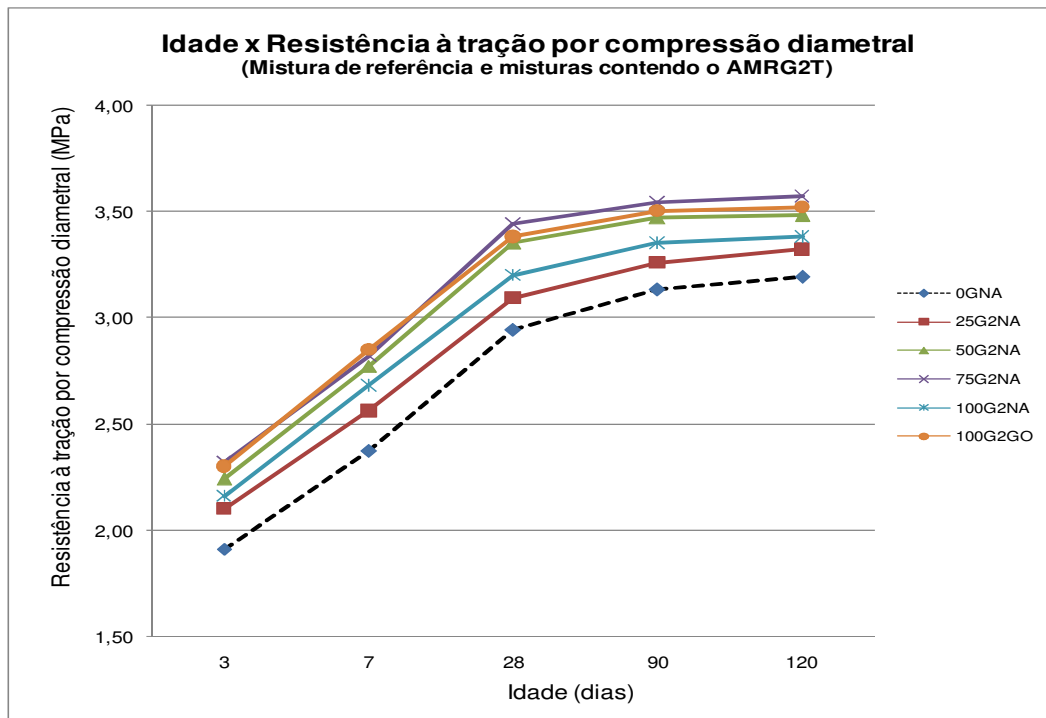


Figura 6.7: Resistência à tração por compressão diametral - mistura de referência x misturas contendo o AMRG2T.

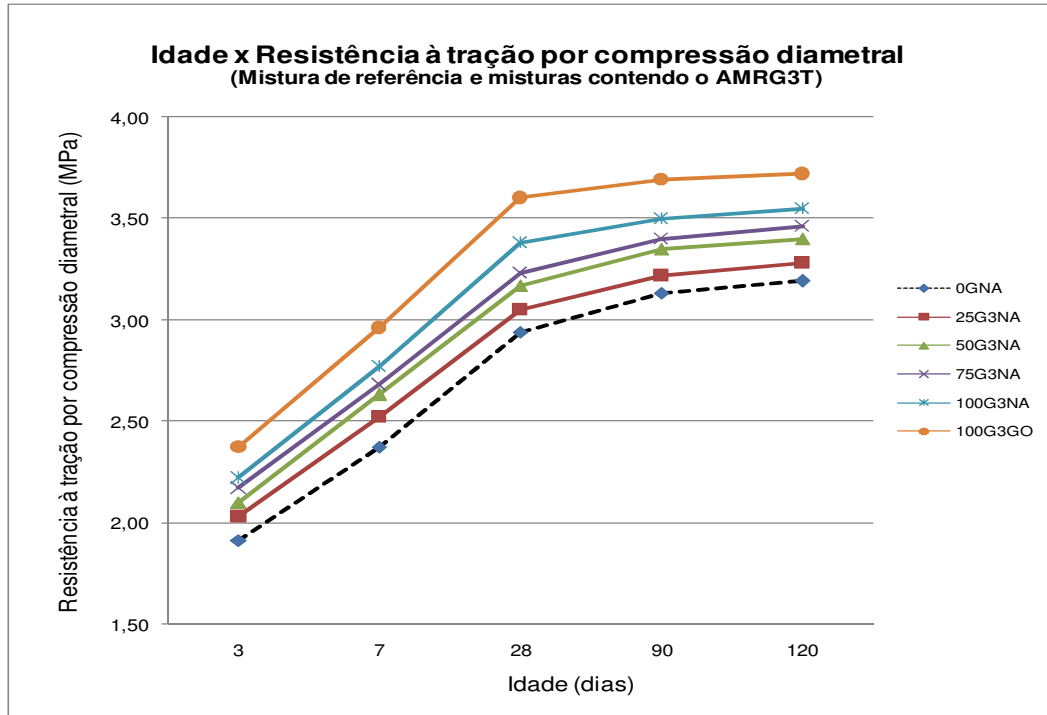


Figura 6.8: Resistência à tração por compressão diametral - mistura de referência x misturas contendo o AMRG3T.

Tal como na resistência à compressão axial, a resistência à tração por compressão diametral das misturas contendo os AMRG3T's, foi afetada favoravelmente, em relação à mistura de referência, pela forma angulosa e pela textura áspera dos AMRG3T's.

Devido à maior aspereza dos grãos do AMRG2T, as misturas confeccionadas com este agregado apresentaram, para teores de até 75% de AMRG3T, valores de resistência à tração por compressão diametral, ligeiramente superiores às das misturas confeccionadas com o AMRG1T ou com o AMRG3T.

As misturas contendo 100% de AMRG1T ou 100% de AMRG2T, na granulometria NA e GO, tal como na resistência à compressão, apresentaram uma redução nos valores da resistência à tração por compressão diametral, em relação a algumas misturas com menores teores, pois devido às baixas absorções de água das misturas, por esses AMRG3T's, houve maior quantidade de água disponível nas mesmas, resultando em aumento demasiado das porosidades das matrizes das pastas de cimento ou das zonas de transição entre as pastas de cimento e o agregado, com conseqüente diminuição dessa resistência.

Também, como na resistência à compressão, as misturas confeccionadas



com 100% de AMRGT's na GO, apresentaram valores de resistência à tração por compressão diametral, superiores às confeccionadas com 100% de AMRGT's na granulometria NA devido à melhor distribuição granulométrica dos AMRGT's, que possibilitou maior compactação das misturas com conseqüente aumento dessa resistência.

A influência da variável teor de AMRGT, nas misturas elaboradas, foi verificada por análise estatística das médias dos resultados individuais dos ensaios de resistência à tração por compressão diametral, utilizando-se a ferramenta ANOVA. A Tabela 6.9 mostra os valores encontrados para os fatores  $F_0$  e  $F_\alpha$ .

TABELA 6.9: Valores de  $F_0$  e  $F_\alpha$  encontrados na análise estatística das médias dos resultados individuais dos ensaios de resistência à tração por compressão diametral, devido à influência do teor de AMRGT.

Fator	Misturas contendo teores variáveis de AMRG1T	Misturas contendo teores variáveis de AMRG2T	Misturas contendo teores variáveis de AMRG3T
$F_0$	44,26	183,18	43,54
$F_\alpha$	3,01	3,01	3,01

Constata-se por meio da Tabela 6.9 que todos os valores de  $F_0$  são superiores ao de  $F_\alpha$ , indicando que houve influência significativa dos teores de AMRGT na resistência à tração por compressão diametral de todas as misturas de concreto.

## 6.6 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO

Os resultados individuais dos ensaios de resistência à tração na flexão foram obtidos ensaiando-se três corpos de prova para cada uma das misturas pesquisadas, na idade de 28 dias. A Tabela 6.10 mostra as médias desses resultados.

TABELA 6.10: Médias dos resultados individuais obtidos nos ensaios de resistência à tração na flexão da mistura de referência e das misturas contendo diferentes teores de AMRG T's.

Misturas contendo o AMRG1T			Misturas contendo o AMRG2T			Misturas contendo o AMRG3T		
Mistura	$f_{tf}$ (MPa)	CV (%)	Mistura	$f_{tf}$ (MPa)	CV (%)	Mistura	$f_{tf}$ (MPa)	CV (%)
OGNA	3,62	3,36	OGNA	3,62	3,36	OGNA	3,62	3,36
25G1NA	3,75	2,31	25G2NA	3,82	4,83	25G3NA	3,68	3,74
50G1NA	3,82	3,12	50G2NA	3,89	2,96	50G3NA	3,72	1,76
75G1NA	3,89	3,64	75G2NA	3,99	3,20	75G3NA	3,75	3,58
100G1NA	3,92	2,17	100G2NA	4,02	4,37	100G3NA	3,79	2,13
100G1GO	3,99	3,51	100G2GO	4,12	3,80	100G3GO	3,88	3,65

Na Tabela 6.10 constata-se que todos os resultados são aceitáveis, pois apresentaram coeficientes de variação menores do que 25%.

A Figura 6.9 ilustra dados mostrados na Tabela 6.10, referentes aos valores da resistência à tração na flexão das misturas pesquisadas.

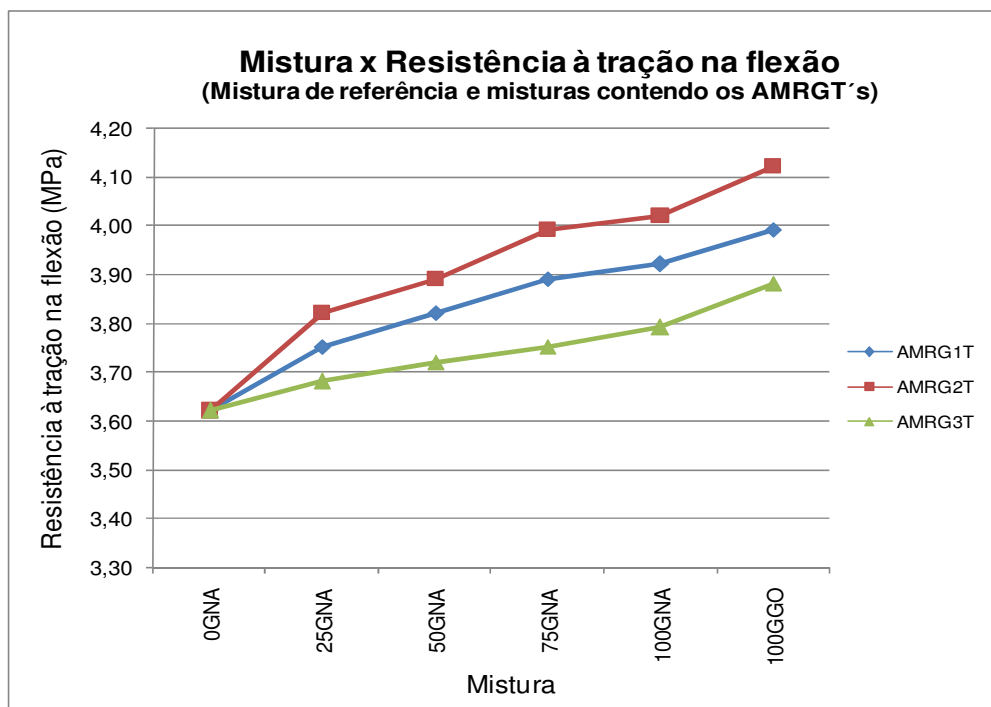


Figura 6.9: Resistência à tração na flexão das misturas estudadas.

MEHTA e MONTEIRO (2008) mencionam que resistência à flexão do concreto, principalmente nas primeiras idades, pode ser afetada pela textura do

agregado sendo que uma textura mais áspera favorece a formação de uma aderência mecânica forte entre a pasta de cimento e o agregado.

NEVILLE (1997) salienta que em geral, quando a aderência é satisfatória, numa seção de um corpo de prova de concreto rompido, aparecem algumas partículas de agregados rompidas e outras, mais numerosas, arrancadas de seu alojamento na pasta de cimento.

Devido à melhor aderência entre o agregado e a pasta de cimento, as misturas contendo os AMRGT's apresentaram valores, de resistência à tração na flexão, superiores às da mistura de referência, sendo as maiores resistências obtidas pelas misturas contendo o AMRG2T seguidas, respectivamente, pelas misturas contendo o AMRG1T e pelas misturas contendo o AMRG3T.

As misturas confeccionadas com 100% de AMRGT's, na GO, apresentaram os maiores valores de resistência à tração na flexão, devido ao maior intertravamento entre os grãos dos AMRGT's, proporcionado pela melhor distribuição granulométrica.

Na Figura 6.10, referente a uma mistura contendo 100% de AMRG2T, percebe-se a boa aderência entre o agregado triturado e a pasta de cimento.

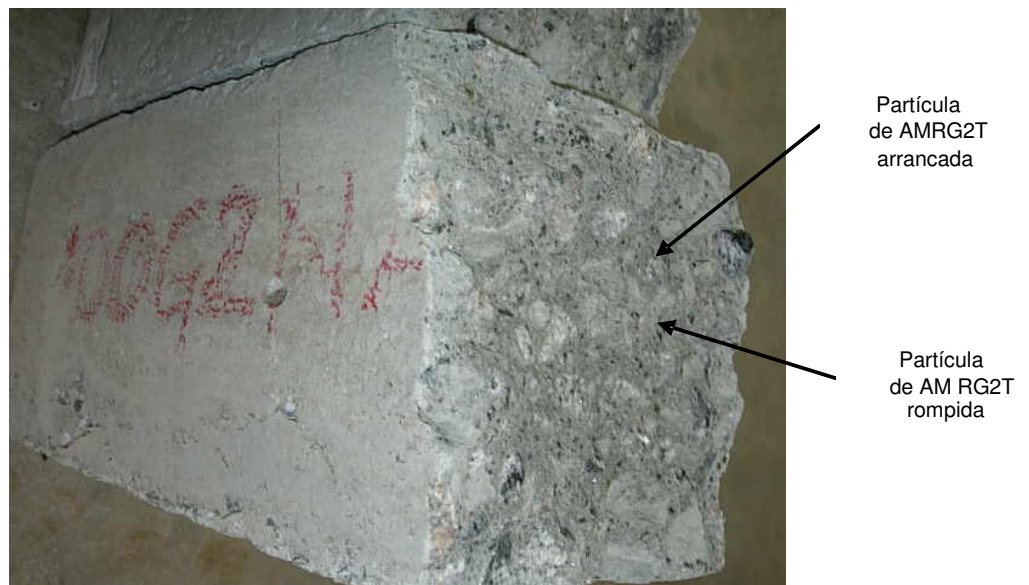


Figura 6.10: Corpo de prova de concreto contendo 100% de AMRG2T, rompido no ensaio de tração na flexão.

Utilizando-se a ferramenta ANOVA, foi verificada a influência das variáveis teor de AMRGT e tipo de AMRGT nas médias dos resultados individuais obtidos nos

ensaios de resistência à tração na flexão, encontrando-se para os fatores  $F_0$  e  $F_\alpha$  os valores mostrados na Tabela 6.11.

TABELA 6.11: Valores de  $F_0$  e  $F_\alpha$  encontrados na análise estatística das médias dos resultados individuais dos ensaios de resistência à tração na flexão, devido à influência do teor e do tipo de AMRGT.

Fator	Devido ao teor de AMRGT	Devido ao tipo de AMRGT
$F_0$	16,75	12,95
$F_\alpha$	3,84	4,46

Constata-se por meio da Tabela 6.11 que todos os valores de  $F_0$  são superiores ao de  $F_\alpha$ , indicando que houve influência significativa do teor e do tipo de AMRGT na resistência à tração na flexão de todas as misturas de concreto.

#### 6.7 ENSAIO DE MÓDULO DE ELASTICIDADE E COEFICIENTE DE POISSON

O ensaio de módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson foi realizado de acordo com a NBR 8522 (ABNT, 2008), em corpos de prova de dimensões iguais a 150 mm x 300 mm (diâmetro x altura). Foram utilizados cinco corpos de prova, por mistura, com idade de 28 dias, sendo dois corpos de prova ensaiados para a determinação da resistência à compressão axial e três para a determinação do módulo de elasticidade e do coeficiente de Poisson.

As médias dos resultados individuais obtidos nos ensaios para a determinação do módulo de elasticidade, de cada uma das misturas pesquisadas, são mostradas na Tabela 6.12.

TABELA 6.12: Médias dos resultados individuais obtidos para o módulo de elasticidade da mistura de referência e das misturas contendo diferentes teores de AMRGT's.

Misturas contendo o AMRG1T			Misturas contendo o AMRG2T			Misturas contendo o AMRG3T		
Mistura	$E_{ci}$ (GPa)	CV (%)	Mistura	$E_{ci}$ (GPa)	CV (%)	Mistura	$E_{ci}$ (GPa)	CV (%)
OGNA	31,04	1,80	OGNA	31,04	1,80	OGNA	31,04	1,80
25G1NA	33,52	2,36	25G2NA	31,38	2,75	25G3NA	34,85	2,31
50G1NA	35,43	3,01	50G2NA	31,72	3,50	50G3NA	37,03	2,37
75G1NA	36,78	3,05	75G2NA	32,06	3,33	75G3NA	37,79	2,31
100G1NA	37,46	2,86	100G2NA	32,39	2,47	100G3NA	38,47	3,02
100G1GO	38,25	1,77	100G2GO	33,41	2,97	100G3GO	39,36	3,44

Na Tabela 6.12 verifica-se que todos os resultados são aceitáveis, pois apresentaram coeficientes de variação menores do que 25%.

A Figura 6.11 ilustra dados mostrados na Tabela 6.12, referentes aos valores do módulo de elasticidade das misturas pesquisadas.

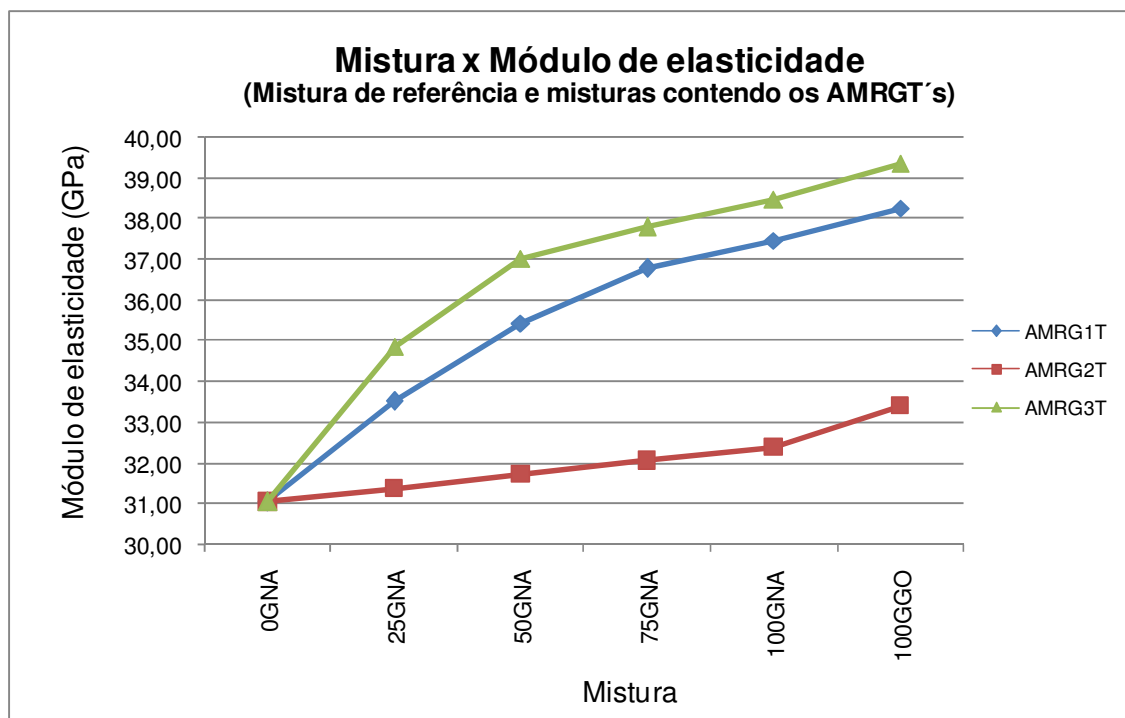


Figura 6.11: Módulo de elasticidade das misturas pesquisadas.

As massas específicas aparentes dos AMRGT's são superiores à massa específica do agregado natural, fato que de acordo com NEVILLE (1997), conduz a uma redução das porosidades dos AMRGT's. Por isso os valores do módulo de

elasticidade das misturas confeccionadas com os AMRGT's, foram superiores ao da mistura de referência.

Também, a forma angulosa e a textura áspera dos grãos dos AMRGT's, proporcionaram menores microfissurações nas interfaces agregado-pasta de cimento, em relação à mistura de referência cujo agregado miúdo natural possuía grãos arredondados e lisos, minimizando as deformações longitudinais, sob a ação de forças, com conseqüente elevação dos valores do módulo de elasticidade e do coeficiente de Poisson.

De todos os AMRGT's utilizados na pesquisa, o AMRG2T é o que apresentou a menor massa específica aparente e, portanto era o mais poroso e o mais deformável. Por este motivo, os valores do módulo de elasticidade das misturas confeccionadas com esse AMRGT foram menores quando comparados com os valores do módulo de elasticidade das misturas contendo os outros dois tipos de AMRGT's.

Para verificar a influência das variáveis, teor de AMRGT e tipo de AMRGT, nas médias dos resultados individuais obtidos nos ensaios de módulo de elasticidade, foi realizada uma análise estatística, por meio da ferramenta ANOVA, encontrando-se para os fatores,  $F_0$  e  $F_\alpha$ , os valores mostrados na Tabela 6.13.

TABELA 6.13: Valores de  $F_0$  e  $F_\alpha$  encontrados na análise estatística das médias dos resultados individuais obtidos nos ensaios de módulo de elasticidade, devido à influência do teor e do tipo de AMRGT.

Fator	Devido ao teor de AMRGT	Devido ao tipo de AMRGT
$F_0$	6,77	12,57
$F_\alpha$	3,84	4,46

Constata-se por meio da Tabela 6.13 que todos os valores de  $F_0$  são superiores ao de  $F_\alpha$ , indicando que houve influência significativa do teor e do tipo de AMRGT no módulo de elasticidade de todas as misturas de concreto.

As médias dos resultados individuais obtidos nos ensaios para determinação do coeficiente de Poisson, das misturas estudadas, são mostradas na Tabela 6.14.

TABELA 6.14: Médias dos resultados individuais obtidos para o coeficiente de Poisson da mistura de referência e das misturas contendo diferentes teores de AMRGT's.

Misturas contendo o AMRG1T			Misturas contendo o AMRG2T			Misturas contendo o AMRG3T		
Mistura	$\mu$	CV (%)	Mistura	$\mu$	CV (%)	Mistura	$\mu$	CV (%)
OGNA	0,190	4,56	OGNA	0,190	4,56	OGNA	0,190	4,56
25G1NA	0,200	2,18	25G2NA	0,194	4,03	25G3NA	0,201	4,63
50G1NA	0,201	5,82	50G2NA	0,196	3,68	50G3NA	0,203	7,17
75G1NA	0,209	1,38	75G2NA	0,201	3,95	75G3NA	0,213	3,02
100G1NA	0,215	4,71	100G2NA	0,209	4,31	100G3NA	0,217	4,80
100G1GO	0,224	5,17	100G2GO	0,220	4,85	100G3GO	0,231	3,36

Na Tabela 6.14 verifica-se que todos os resultados são aceitáveis, pois apresentaram coeficientes de variação menores do que 25%.

A Figura 6.12 ilustra os dados mostrados na Tabela 6.14 referentes ao coeficiente de Poisson de cada uma das misturas pesquisadas.

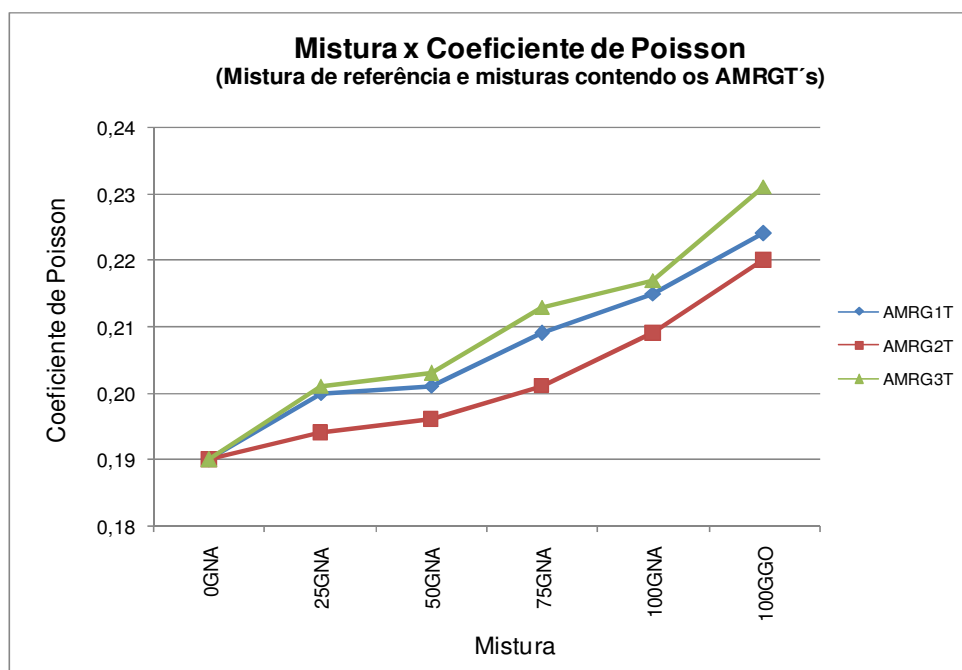


Figura 6.12: Coeficiente de Poisson das misturas pesquisadas.

O coeficiente de Poisson de um material é a relação entre a deformação lateral e a deformação axial (direção de aplicação da força) dentro do intervalo elástico.

Em geral o coeficiente de Poisson não é utilizado na maioria dos cálculos em projeto de concreto. Entretanto o mesmo é necessário para a análise estrutural de túneis, barragens em arco e outras estruturas estaticamente indeterminadas (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

Na pesquisa realizada este coeficiente aumentou à medida que o percentual de AMRGT's foi elevado, pois houve decréscimos das deformações axiais devido às menores porosidades dos AMRGT's, em relação ao AMN, com consequente aumento das deformações laterais.

A norma NBR 6118 (ABNT, 2007) prescreve, para tensões de compressão menores do que  $0,5.f_c$ , o valor de 0,20 para o coeficiente de Poisson. Apesar dos resultados obtidos nos ensaios serem ligeiramente diferentes desse valor, não foram observadas anomalias tais como fissuras e/ou trincas ou desagregações nas laterais dos corpos de prova, durante a realização dos ensaios para a determinação desses coeficientes.

Por meio da ferramenta ANOVA, verificou-se a influência das variáveis, teor de AMRGT e tipo de AMRGT, nas médias dos resultados individuais obtidos nos ensaios para determinação do coeficiente de Poisson, encontrando-se para os fatores,  $F_0$  e  $F_\alpha$ , os valores mostrados na Tabela 6.15.

TABELA 6.15: Valores de  $F_0$  e  $F_\alpha$  encontrados na análise estatística das médias dos resultados individuais dos ensaios para determinação do coeficiente de Poisson, devido à influência do teor e do tipo de AMRGT.

Fator	Devido ao teor de AMRGT	Devido ao tipo de AMRGT
$F_0$	49,61	12,45
$F_\alpha$	3,84	4,46

Constata-se por meio da Tabela 6.15 que todos os valores de  $F_0$  são superiores ao de  $F_\alpha$ , indicando que houve influência significativa do teor e do tipo de AMRGT no coeficiente de Poisson de todas as misturas de concreto.



## 6.8 ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA POR IMERSÃO E DE ÍNDICE DE VAZIOS

A absorção de água por imersão foi determinada em corpos de prova com idade de 28 dias, encontrando-se, para as médias dos resultados individuais dos ensaios, os valores mostrados na Tabela 6.16.

TABELA 6.16: Médias dos resultados individuais obtidos nos ensaios de absorção de água por imersão, das misturas pesquisadas.

Misturas contendo o AMRG1T			Misturas contendo o AMRG2T			Misturas contendo o AMRG3T		
Mistura	A (%)	CV (%)	Mistura	A (%)	CV (%)	Mistura	A (%)	CV (%)
OGNA	7,22	1,60	OGNA	7,22	1,60	OGNA	7,22	1,60
25G1NA	7,07	1,93	25G2NA	6,99	2,77	25G3NA	7,12	1,62
50G1NA	7,05	2,56	50G2NA	6,94	5,33	50G3NA	7,11	4,96
75G1NA	7,01	1,98	75G2NA	6,92	2,22	75G3NA	7,07	2,77
100G1NA	6,94	5,26	100G2NA	6,88	5,38	100G3NA	7,03	2,78
100G1GO	6,92	1,70	100G2GO	6,83	2,30	100G3GO	7,00	2,30

Todos os resultados mostrados na Tabela 6.16 são aceitáveis, pois todos os coeficientes de variação são menores do que 25%.

A Figura 6.13 ilustra dados mostrados na Tabela 6.16 referentes aos valores da absorção de água por imersão, de cada uma das misturas estudadas.

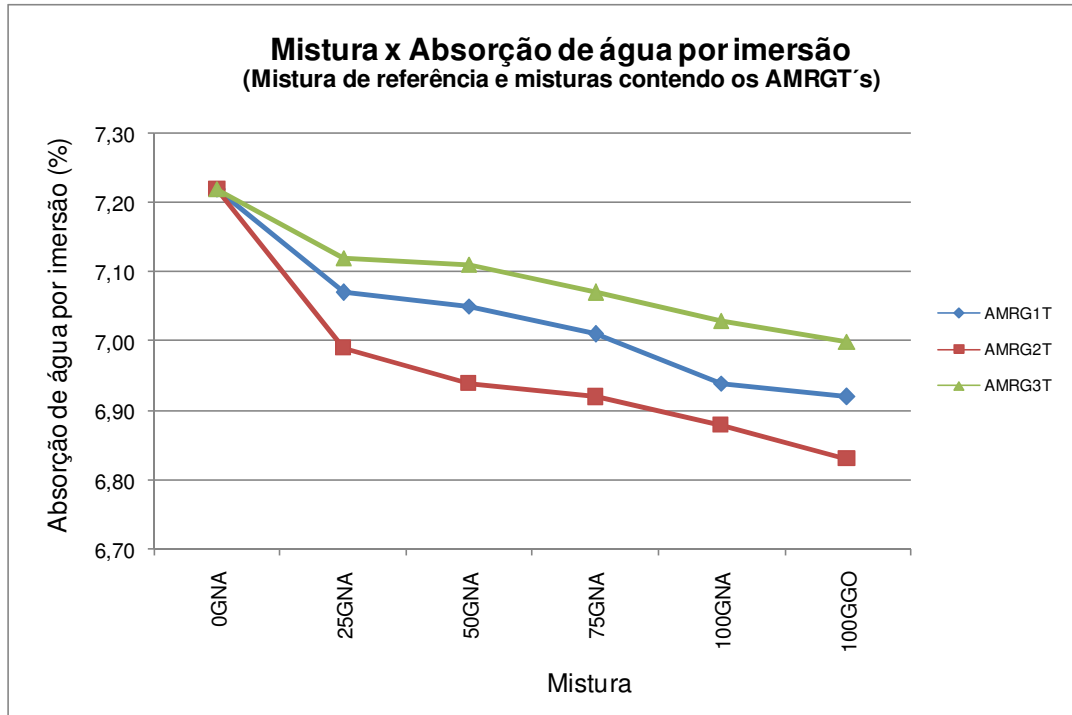


Figura 6.13: Absorção de água por imersão das misturas pesquisadas.

Observou-se redução nos valores da absorção de água por imersão das misturas confeccionadas com os AMRGT's, em relação à mistura de referência, devido ao preenchimento e distribuição dos vazios com partículas de AMRGT's de menores dimensões (menores do que 0,15 mm) e também pelo fato dos AMRGT's apresentarem menores absorções de água, em relação ao AMN.

As misturas contendo o AMRG2T apresentaram os menores valores de absorção de água por imersão, pois esse tipo de AMRGT possuía, além do maior teor de material pulverulento, a menor absorção de água. Pelas mesmas razões, as misturas contendo o AMRG1T ou o AMRG3T apresentaram, respectivamente, maiores valores de absorção de água por imersão do que as misturas contendo o AMRG2T.

As misturas contendo 100% de AMRGT's, na GO, apresentaram menores valores de absorção de água por imersão do que as misturas contendo 100% do mesmo tipo de AMRGT na granulometria NA, pois na GO os AMRGT's possuíam melhor distribuição granulométrica com menores volumes de vazios.

Por meio de análise estatística, utilizando a ferramenta ANOVA, verificou-se a influência das variáveis, teor de AMRGT e tipo de AMRGT, nas médias dos

resultados individuais obtidos nos ensaios de absorção de água por imersão, encontrando-se para os fatores  $F_0$  e  $F_\alpha$  os valores mostrados na Tabela 6.17.

TABELA 6.17: Valores de  $F_0$  e  $F_\alpha$  encontrados na análise estatística das médias dos resultados individuais dos ensaios de absorção de água por imersão, devido à influência do teor e do tipo de AMRGT.

Fator	Devido ao teor de AMRGT	Devido ao tipo de AMRGT
$F_0$	24,91	14,41
$F_\alpha$	3,84	4,46

Constata-se por meio da Tabela 6.17 que todos os valores de  $F_0$  são superiores ao de  $F_\alpha$ , indicando que houve influência significativa do teor e do tipo de AMRGT na absorção de água por imersão de todas as misturas de concreto.

O índice de vazios foi determinado utilizando-se os mesmos corpos de prova do ensaio de absorção de água por imersão, com idade de 28 dias, encontrando-se como médias dos resultados individuais dos ensaios, os valores mostrados na Tabela 6.18.

TABELA 6.18: Médias dos resultados individuais obtidos nos ensaios, para a determinação do índice de vazios de cada uma das misturas pesquisadas.

Misturas contendo o AMRG1T			Misturas contendo o AMRG2T			Misturas contendo o AMRG3T		
Mistura	$I_v$ (%)	CV (%)	Mistura	$I_v$ (%)	CV (%)	Mistura	$I_v$ (%)	CV (%)
OGNA	15,80	2,11	OGNA	15,80	2,11	OGNA	15,80	2,11
25G1NA	15,61	3,82	25G2NA	15,44	2,90	25G3NA	15,73	1,86
50G1NA	15,56	1,84	50G2NA	15,32	4,11	50G3NA	15,69	2,48
75G1NA	15,49	2,74	75G2NA	15,27	2,74	75G3NA	15,61	3,79
100G1NA	15,40	3,54	100G2NA	15,22	2,45	100G3NA	15,52	1,55
100G1GO	15,38	2,80	100G2GO	15,17	3,29	100G3GO	15,48	2,37

Todos os resultados mostrados na Tabela 6.18 são aceitáveis, pois todos os coeficientes de variação são menores do que 25%.

A Figura 6.14 ilustra dados mostrados na Tabela 6.18, referentes ao índice de vazios de cada uma das misturas estudadas.

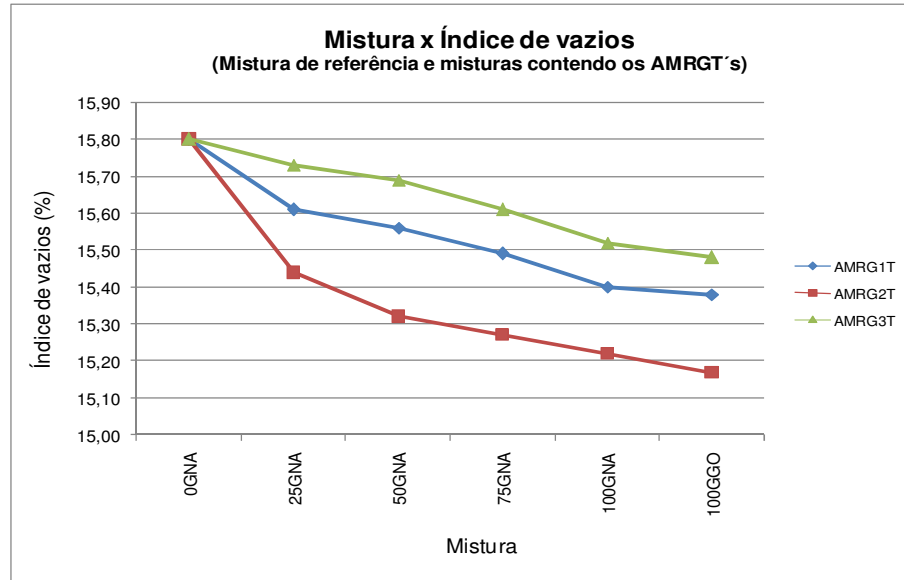


Figura 6.14: Índice de vazios das misturas pesquisadas.

A redução dos valores do índice de vazios das misturas contendo os AMRGT's, em relação à mistura de referência, ocorreu devido ao preenchimento e distribuição dos vazios com partículas de AMRGT's de menores dimensões (menores do que 0,15 mm).

As misturas contendo o AMRG2T apresentaram os menores valores de índice de vazios, pois o AMRG2T possuía a maior quantidade de material pulverulento. Pelo mesmo motivo, respectivamente, as misturas contendo o AMRG1T ou o AMRG3T apresentaram maiores valores de índice de vazios do que as misturas contendo o AMRG2T.

As misturas contendo 100% de AMRGT's, na GO, apresentaram menores valores de índice de vazios do que as misturas contendo 100% do mesmo tipo de AMRGT na granulometria NA, pois na GO os AMRGT's possuíam melhor distribuição granulométrica com os grãos se encaixando melhor uns aos outros e diminuindo os vazios.

Com as médias dos resultados individuais obtidos nos ensaios de índice de vazios, foi feita uma análise estatística, por meio da ferramenta ANOVA, para verificar a influência das variáveis, teor de AMRGT e tipo de AMRGT, encontrando-se para os fatores  $F_0$  e  $F_\alpha$  os valores mostrados na Tabela 6.19.

TABELA 6.19: Valores de  $F_0$  e  $F_\alpha$  encontrados na análise estatística das médias dos resultados individuais dos ensaios para a determinação do índice de vazios, devido à influência do teor e do tipo de AMRGT.

Fator	Devido ao teor de AMRGT	Devido ao tipo de AMRGT
$F_0$	13,52	15,13
$F_\alpha$	3,84	4,46

A Tabela 6.19 mostra que todos os valores de  $F_0$  são superiores ao de  $F_\alpha$ , indicando que houve influência significativa do teor e do tipo de AMRGT no índice de vazios de todas as misturas de concreto.

### 6.9 ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE

A absorção de água por capilaridade, para cada uma das misturas, foi determinada nos intervalos de 3, 6, 24, 48 e 72 horas de contato da base do corpo de prova com a água. As Tabelas 6.20 a 6.22 mostram as médias dos resultados individuais obtidos para esse tipo de absorção.

TABELA 6.20: Médias dos resultados individuais obtidos nos ensaios de absorção de água por capilaridade, da mistura de referência e das misturas contendo diferentes teores de AMRGT.

Mistura	3 horas		6 horas		24 horas		48 horas		72 horas	
	$C_3$ (g/cm <sup>2</sup> )	CV (%)	$C_6$ (g/cm <sup>2</sup> )	CV (%)	$C_{24}$ (g/cm <sup>2</sup> )	CV (%)	$C_{48}$ (g/cm <sup>2</sup> )	CV (%)	$C_{72}$ (g/cm <sup>2</sup> )	CV (%)
0GNA	0,52	2,06	0,63	1,78	1,10	1,74	1,41	1,34	1,61	0,82
25G1NA	0,36	3,53	0,48	2,92	0,88	2,28	1,17	2,81	1,36	2,75
50G1NA	0,29	3,94	0,40	3,31	0,80	2,95	1,08	2,29	1,27	1,89
75G1NA	0,25	3,00	0,34	3,36	0,74	2,25	0,95	1,67	1,08	1,35
100G1NA	0,22	3,46	0,29	2,60	0,70	2,91	0,83	2,45	1,00	3,73
100G1GO	0,18	2,10	0,27	2,17	0,67	1,32	0,79	1,31	0,98	1,48

onde:

$C_3$  – absorção de água por capilaridade durante 3 horas;

$C_6$  – absorção de água por capilaridade durante 6 horas;

$C_{24}$  – absorção de água por capilaridade durante 24 horas;

$C_{48}$  – absorção de água por capilaridade durante 48 horas;

$C_{72}$  – absorção de água por capilaridade durante 72 horas.

TABELA 6.21: Médias dos resultados individuais obtidos nos ensaios de absorção de água por capilaridade, da mistura de referência e das misturas contendo diferentes teores de AMRG2T.

Mistura	3 horas		6 horas		24 horas		48 horas		72 horas	
	$C_3$ (g/cm <sup>2</sup> )	CV (%)	$C_6$ (g/cm <sup>2</sup> )	CV (%)	$C_{24}$ (g/cm <sup>2</sup> )	CV (%)	$C_{48}$ (g/cm <sup>2</sup> )	CV (%)	$C_{72}$ (g/cm <sup>2</sup> )	CV (%)
0GNA	0,52	2,06	0,63	1,78	1,10	1,74	1,41	1,34	1,61	0,82
25G2NA	0,30	2,46	0,41	1,93	0,83	1,66	1,16	1,45	1,32	1,33
50G2NA	0,23	3,33	0,31	3,20	0,68	3,38	1,05	3,11	1,26	3,53
75G2NA	0,18	3,19	0,26	4,37	0,62	3,19	0,94	3,24	1,18	2,97
100G2NA	0,16	4,38	0,23	2,47	0,55	1,78	0,86	1,45	1,07	1,96
100G2GO	0,14	5,93	0,19	3,99	0,50	2,53	0,80	1,91	1,02	1,41

TABELA 6.22: Médias dos resultados individuais obtidos nos ensaios de absorção de água por capilaridade, da mistura de referência e das misturas contendo diferentes teores de AMRG3T.

Mistura	3 horas		6 horas		24 horas		48 horas		72 horas	
	$C_3$ (g/cm <sup>2</sup> )	CV (%)	$C_6$ (g/cm <sup>2</sup> )	CV (%)	$C_{24}$ (g/cm <sup>2</sup> )	CV (%)	$C_{48}$ (g/cm <sup>2</sup> )	CV (%)	$C_{72}$ (g/cm <sup>2</sup> )	CV (%)
0GNA	0,52	2,06	0,63	1,78	1,10	1,74	1,41	1,34	1,61	0,82
25G3NA	0,42	1,22	0,54	1,03	0,93	1,15	1,25	1,57	1,44	1,54
50G3NA	0,38	1,76	0,50	2,65	0,87	1,85	1,12	1,41	1,34	1,75
75G3NA	0,34	2,92	0,45	2,99	0,83	2,03	1,08	3,46	1,29	2,32
100G3NA	0,29	4,19	0,41	3,27	0,80	2,33	1,07	2,21	1,24	1,53
100G3GO	0,24	2,36	0,35	2,33	0,76	1,79	1,03	1,55	1,22	1,50

Constata-se pelas Tabelas 6.20, 6.21 e 6.22 que todos os resultados são aceitáveis, pois todos os coeficientes de variação são menores do que 25%.

As Figuras, 6.15 a 6.17 ilustram dados mostrados na Tabelas 6.20 a 6.22, referentes à absorção de água por capilaridade, de todas as misturas estudadas.

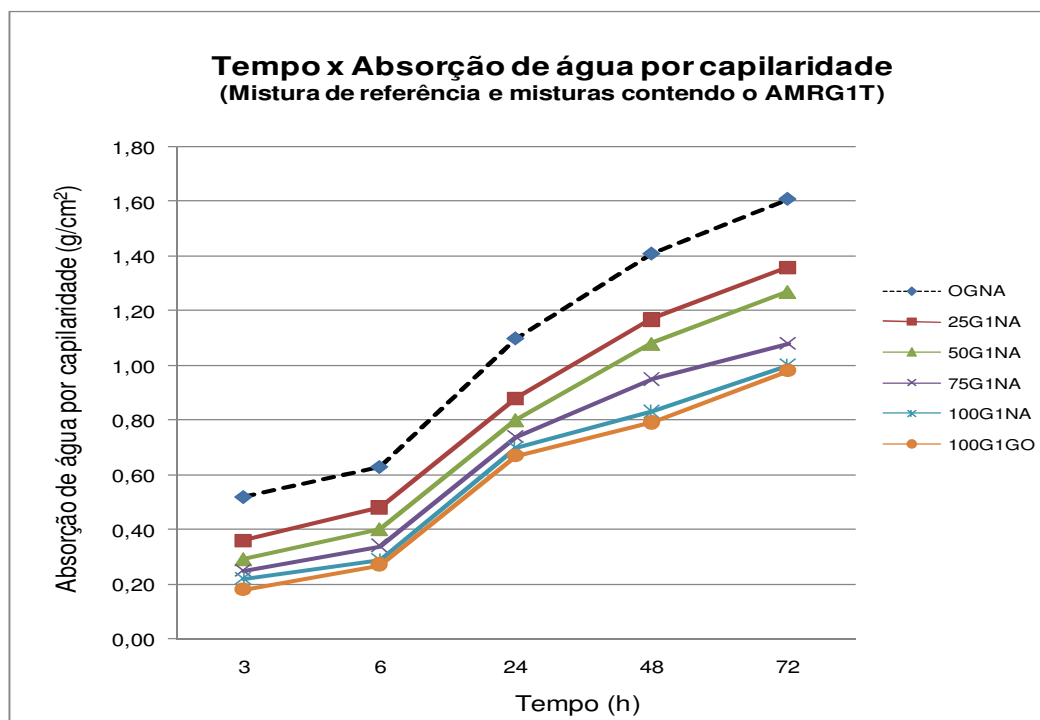


Figura 6.15: Absorção de água por capilaridade – mistura de referência x misturas contendo o AMRG1T.

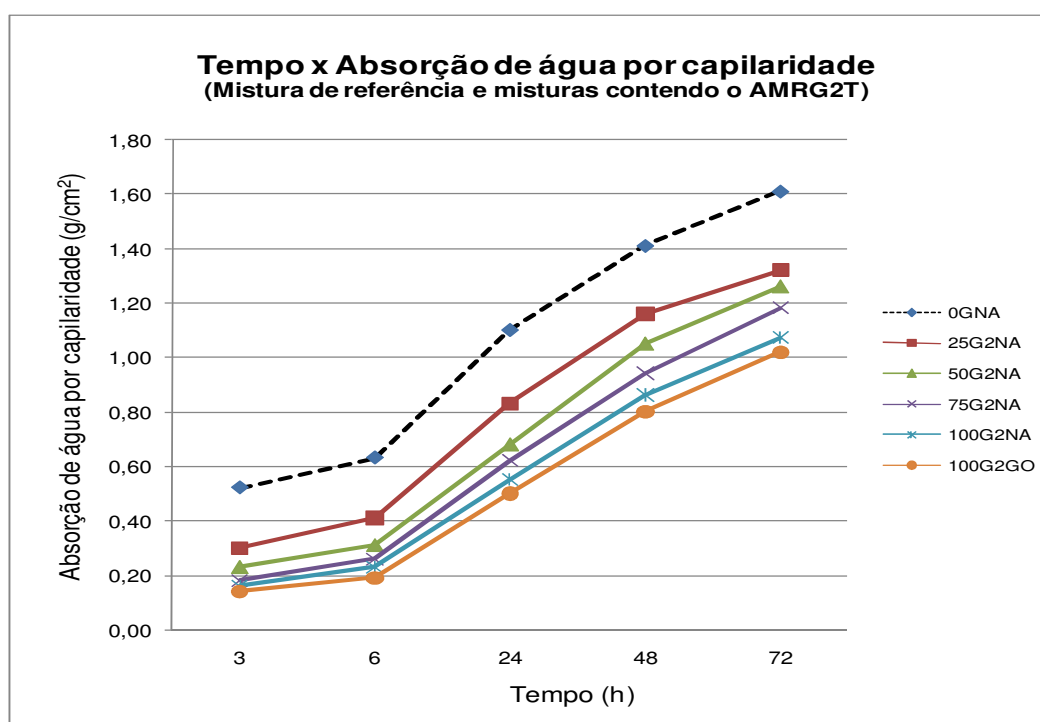


Figura 6.16: Absorção de água por capilaridade – mistura de referência x misturas contendo o AMRG2T.

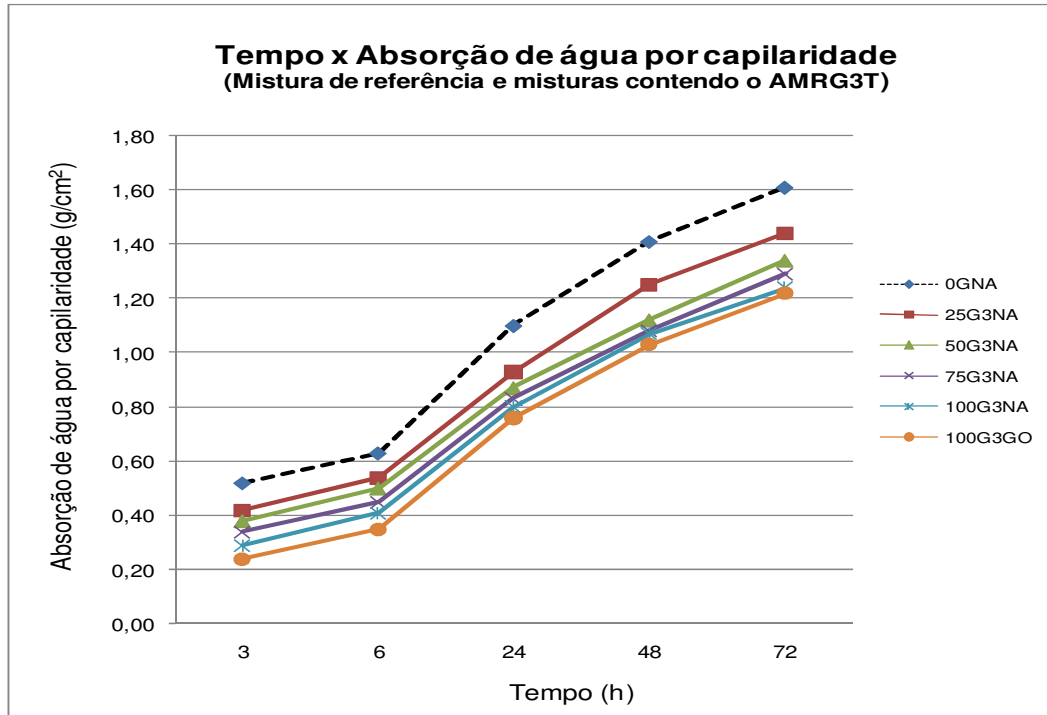


Figura 6.17: Absorção de água por capilaridade – mistura de referência x misturas contendo o AMRG3T.

Em relação à mistura de referência, constatou-se que as misturas contendo os AMRG3T's apresentaram menores valores de absorção de água por capilaridade devido ao preenchimento de parte dos vazios com o material pulverulento que esteve presente em maior quantidade nos AMRG3T's. Também as menores absorções de água pelos AMRG3T's, em relação ao AMN, contribuíram para minimizar os valores da absorção de água por capilaridade das misturas contendo os AMRG3T's.

Devido aos menores índices de vazios, as misturas contendo 100% de AMRG3T's, na GO, apresentaram menores valores de absorção de água por capilaridade, em relação às misturas contendo 100% de AMRG3T's na granulometria NA.

Por meio das Figuras 6.15, 6.16 e 6.17 constatou-se que as misturas contendo o AMRG2T apresentaram os menores valores de absorção de água por capilaridade, pois esse tipo de agregado possuía grãos com menor capacidade de absorção de água e o maior teor de material pulverulento. Respectivamente, as misturas contendo o AMRG1T ou o AMRG3T apresentaram maiores valores de absorção de água por capilaridade do que as misturas contendo o AMRG2T.



Para verificar a influência da variável teor de AMRGT nas misturas elaboradas, efetuou-se uma análise estatística, por meio da ferramenta ANOVA, das médias dos resultados individuais encontrados nos ensaios de absorção de água por capilaridade. A Tabela 6.23 mostra os valores encontrados para os fatores  $F_0$  e  $F_\alpha$ .

TABELA 6.23: Valores de  $F_0$  e  $F_\alpha$  obtidos com as médias dos resultados individuais dos ensaios de absorção de água por capilaridade, devido à influência do teor de AMRGT.

Fator	Misturas contendo teores variáveis de AMRG1T	Misturas contendo teores variáveis de AMRG2T	Misturas contendo teores variáveis de AMRG3T
$F_0$	45,64	122,42	61,70
$F_\alpha$	3,01	3,01	3,01

Constata-se por meio da Tabela 6.23 que todos os valores de  $F_0$  são superiores ao de  $F_\alpha$ , indicando que houve influência significativa dos teores de AMRGT na absorção de água por capilaridade de todas as misturas de concreto.

#### 6.10 ENSAIO PARA DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DA AMOSTRA SECA

Os resultados individuais dos ensaios para a determinação da massa específica da amostra seca, de cada uma das misturas pesquisadas, foram obtidos ensaiando-se quatro corpos de prova com 28 dias de idade. A Tabela 6.24 mostra as médias desses resultados.

TABELA 6.24: Médias dos resultados individuais obtidos nos ensaios para a determinação da massa específica da amostra seca, das misturas pesquisadas.

Misturas contendo o AMRG1T			Misturas contendo o AMRG2T			Misturas contendo o AMRG3T		
Mistura	$\rho_s$ (kg/m <sup>3</sup> )	CV (%)	Mistura	$\rho_s$ (kg/m <sup>3</sup> )	CV (%)	Mistura	$\rho_s$ (kg/m <sup>3</sup> )	CV (%)
OGNA	2300	1,05	OGNA	2300	1,05	OGNA	2300	1,05
25G1NA	2308	1,09	25G2NA	2301	1,49	25G3NA	2312	1,06
50G1NA	2315	0,98	50G2NA	2303	0,66	50G3NA	2324	1,89
75G1NA	2323	1,36	75G2NA	2304	1,10	75G3NA	2335	2,40
100G1NA	2330	1,73	100G2NA	2306	1,26	100G3NA	2347	1,19
100G1GO	2335	1,41	100G2GO	2310	1,38	100G3GO	2354	0,90

Todos os resultados mostrados na Tabela 6.24 são aceitáveis, pois todos os coeficientes de variação são menores do que 25%.

A Figura 6.18 ilustra dados da Tabela 6.24 referentes à massa específica da amostra seca de cada uma das misturas estudadas.

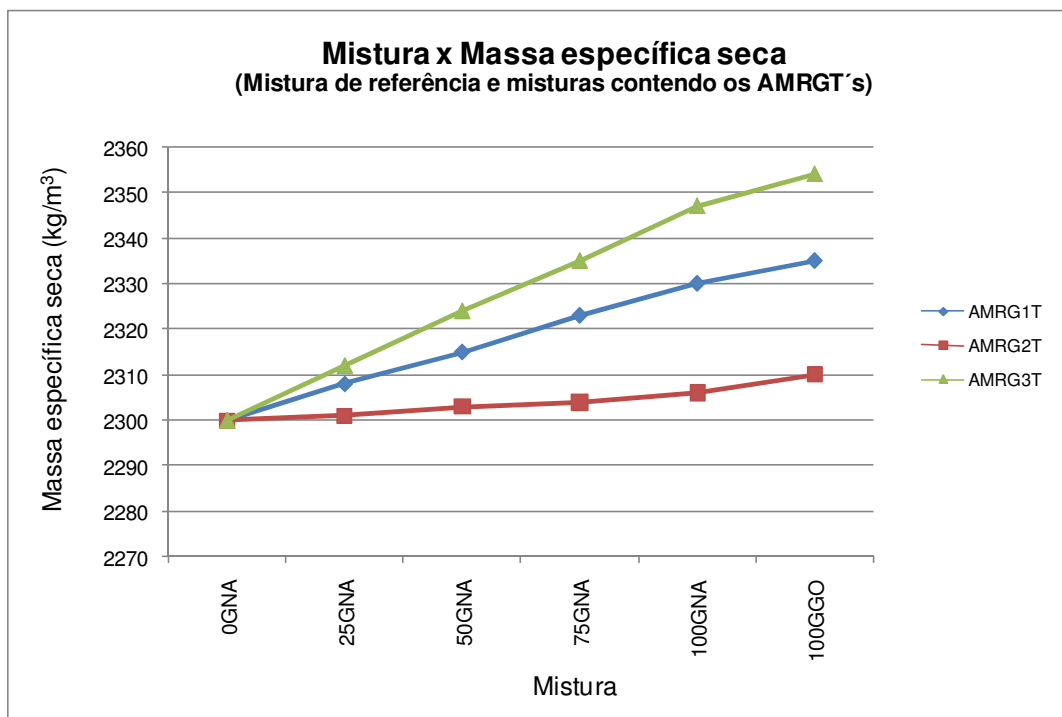


Figura 6.18: Massa específica da amostra seca das misturas pesquisadas.

Constatou-se, por meio dos resultados, que as misturas contendo os AMRGT's apresentaram maiores valores de massa específica da amostra seca do que a mistura de referência e que os mesmos foram aumentando à medida que aumentaram os teores de AMRGT's nas misturas. Isto ocorreu porque os AMRGT's possuíam maiores massas específicas aparentes do que o AMN.

As misturas contendo o AMRG3T apresentaram os maiores valores de massa específica da amostra seca, pois esse tipo de AMRGT é o que possuía a maior massa específica aparente. As misturas contendo o AMRG1T ou o AMRG2T apresentaram, respectivamente, menores valores de massa específica da amostra seca do que as misturas contendo o AMRG3T.

Os valores encontrados para a massa específica da amostra seca, de cada uma das misturas estudadas, atendem aos limites estabelecidos na norma NBR

6118 (ABNT, 2007), para concretos de massa específica normal, que devem estar compreendidos entre  $2000 \text{ kg/m}^3$  e  $2800 \text{ kg/m}^3$ .

Efetuuou-se uma análise estatística por meio da ferramenta ANOVA, das médias dos resultados individuais obtidos nos ensaios de massa específica da amostra seca, a fim de se verificar a influência das variáveis, teor e tipo de AMRGT, encontrando-se para os fatores  $F_0$  e  $F_\alpha$  os valores mostrados na Tabela 6.25.

TABELA 6.25: Valores de  $F_0$  e  $F_\alpha$  encontrados na análise estatística das médias dos resultados individuais dos ensaios de massa específica da amostra seca, devido à influência do teor e do tipo de AMRGT.

Fator	Devido ao teor de AMRGT	Devido ao tipo de AMRGT
$F_0$	7,47	22,58
$F_\alpha$	3,84	4,46

A Tabela 6.25 mostra que todos os valores de  $F_0$  são superiores ao de  $F_\alpha$ , indicando que houve influência significativa do teor e do tipo de AMRGT na massa específica da amostra seca de todas as misturas de concreto.

### 6.11 ENSAIO PARA DETERMINAÇÃO DA RETRAÇÃO HIDRÁULICA

As médias dos resultados individuais obtidos nos ensaios de retração hidráulica das misturas estudadas são mostradas nas Tabelas 6.26 a 6.28.

TABELA 6.26: Médias dos resultados individuais obtidos no ensaio de retração hidráulica da mistura de referência e das misturas contendo diferentes teores de AMRG1T.

Mistura	3 dias		7 dias		28 dias		56 dias		90 dias		180 dias	
	$\Delta L_3$ (%)	CV (%)	$\Delta L_7$ (%)	CV (%)	$\Delta L_{28}$ (%)	CV (%)	$\Delta L_{56}$ (%)	CV (%)	$\Delta L_{90}$ (%)	CV (%)	$\Delta L_{180}$ (%)	CV (%)
0GNA	0,004	3,73	0,016	3,63	0,029	4,18	0,042	2,83	0,042	2,91	0,042	2,95
25G1NA	0,005	5,89	0,023	4,77	0,039	1,96	0,050	4,68	0,051	4,47	0,051	4,52
50G1NA	0,008	6,04	0,024	3,98	0,042	3,20	0,052	2,18	0,053	2,27	0,053	2,18
75G1NA	0,011	5,74	0,027	7,07	0,045	3,21	0,057	4,54	0,058	4,41	0,058	4,48
100G1NA	0,013	5,44	0,030	3,51	0,048	2,48	0,061	3,42	0,062	3,36	0,062	3,32
100G1GO	0,014	6,08	0,032	3,86	0,050	4,24	0,062	2,64	0,064	2,78	0,064	2,70

onde:

$\Delta L_3$  – retração hidráulica média aos 3 dias de idade;

$\Delta L_7$  – retração hidráulica média aos 7 dias de idade;

$\Delta L_{28}$  – retração hidráulica média aos 28 dias de idade;

$\Delta L_{56}$  – retração hidráulica média aos 56 dias de idade;

$\Delta L_{90}$  – retração hidráulica média aos 90 dias de idade;

$\Delta L_{180}$  – retração hidráulica média aos 180 dias de idade.

TABELA 6.27: Médias dos resultados individuais obtidos no ensaio de retração hidráulica da mistura de referência e das misturas contendo diferentes teores de AMRG2T.

Mistura	3 dias		7 dias		28 dias		56 dias		90 dias		180 dias	
	$\Delta L_3$ (%)	CV (%)	$\Delta L_7$ (%)	CV (%)	$\Delta L_{28}$ (%)	CV (%)	$\Delta L_{56}$ (%)	CV (%)	$\Delta L_{90}$ (%)	CV (%)	$\Delta L_{180}$ (%)	CV (%)
0GNA	0,004	3,73	0,016	3,63	0,029	4,18	0,042	2,83	0,042	2,91	0,042	2,95
25G2NA	0,006	7,59	0,021	3,53	0,039	4,24	0,055	4,20	0,055	4,15	0,055	4,14
50G2NA	0,008	4,70	0,024	4,63	0,043	5,03	0,056	4,03	0,056	4,10	0,056	4,10
75G2NA	0,012	3,07	0,029	3,50	0,045	3,37	0,058	2,28	0,058	2,20	0,058	2,27
100G2NA	0,015	3,81	0,034	4,74	0,050	2,63	0,063	2,89	0,064	2,75	0,064	2,80
100G2GO	0,017	4,51	0,035	2,12	0,052	1,33	0,064	1,17	0,065	1,09	0,065	1,10

TABELA 6.28: Médias dos resultados individuais obtidos no ensaio de retração hidráulica da mistura de referência e das misturas contendo diferentes teores de AMRG3T.

Mistura	3 dias		7 dias		28 dias		56 dias		90 dias		180 dias	
	$\Delta L_3$ (%)	CV (%)	$\Delta L_7$ (%)	CV (%)	$\Delta L_{28}$ (%)	CV (%)	$\Delta L_{56}$ (%)	CV (%)	$\Delta L_{90}$ (%)	CV (%)	$\Delta L_{180}$ (%)	CV (%)
0GNA	0,004	3,73	0,016	3,63	0,029	4,18	0,042	2,83	0,042	2,91	0,042	2,95
25G3NA	0,004	5,12	0,019	5,53	0,036	4,11	0,046	3,50	0,047	3,74	0,047	3,71
50G3NA	0,005	3,65	0,024	3,06	0,042	2,47	0,053	2,07	0,054	2,17	0,054	2,23
75G3NA	0,009	3,27	0,027	5,48	0,046	2,31	0,057	2,55	0,059	2,08	0,059	1,91
100G3NA	0,012	3,54	0,028	2,80	0,047	3,26	0,060	2,48	0,061	2,54	0,061	2,39
100G3GO	0,012	3,42	0,030	3,51	0,049	1,33	0,062	1,21	0,062	1,26	0,062	1,32

Constata-se por meio das Tabelas 6.26, 6.27 e 6.28 que todos os resultados são aceitáveis, pois todos os coeficientes de variação são menores do que 25%.

As Figuras 6.19 a 6.21 ilustram dados mostrados nas Tabelas 6.26 a 6.28, referentes à variação da retração hidráulica em função da idade, de cada uma das misturas estudadas.

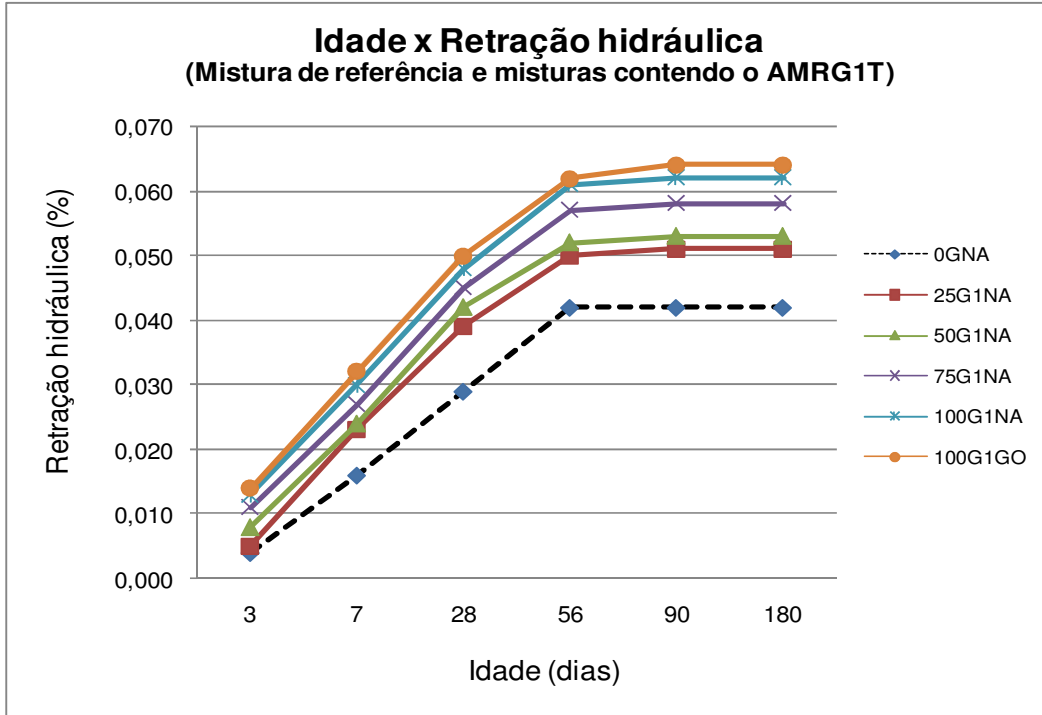


Figura 6.19: Retração hidráulica – mistura de referência x misturas contendo o AMRG1T.

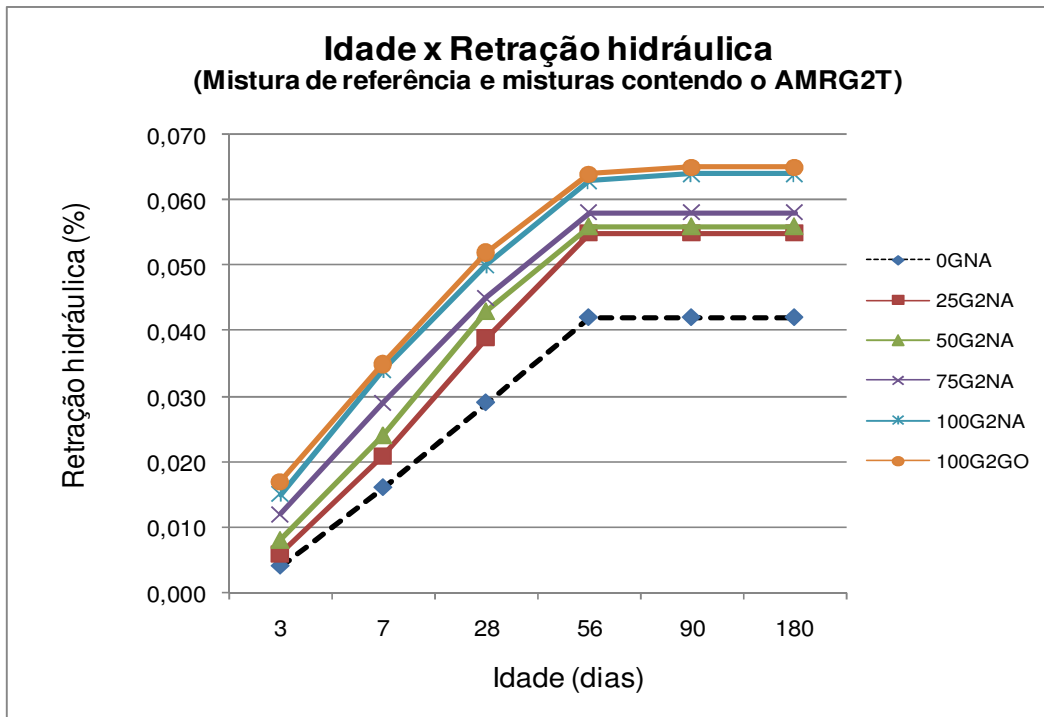


Figura 6.20: Retração hidráulica – mistura de referência x misturas contendo o AMRG2T.

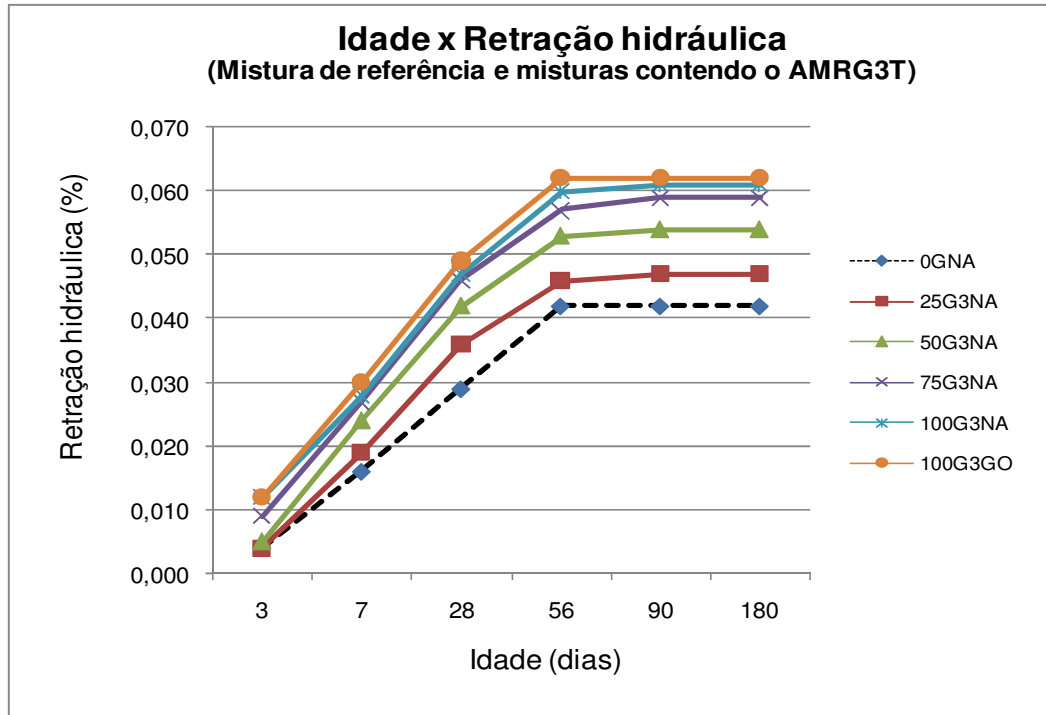


Figura 6.21: Retração hidráulica – mistura de referência x misturas contendo o AMRG3T.

As misturas contendo os AMRG3T's apresentaram maiores valores de retração hidráulica do que a mistura de referência, devido às maiores quantidades de material pulverulento presente nos AMRG3T's, que possibilitaram o refinamento das misturas, com conseqüente formação de poros capilares através dos quais pode haver remoção da água adsorvida, causando retrações hidráulicas.

A norma NBR 6118 (ABNT, 2007) estabelece valores característicos superiores da deformação específica de retração, em função da umidade ambiente, da geometria e da idade do corpo de prova. A Tabela 6.29 mostra as maiores diferenças de retrações ocorridas nos intervalos correspondentes às idades indicadas e as necessárias para as estabilizações das retrações das misturas contendo cada um dos três tipos de AMRG3T, que podem ser comparadas com as diferenças recomendadas pela norma.

TABELA 6.29: Comparações entre as diferenças de retrações hidráulicas encontradas e os valores máximos estabelecidos pela NBR 6118 (ABNT, 2007).

Idade (dias)	Diferenças entre retrações hidráulicas (%)			
	Misturas contendo o AMRG1T	Misturas contendo o AMRG2T	Misturas contendo o AMRG3T	NBR 6118
5	- 0,037	- 0,038	- 0,037	- 0,027
30	- 0,013	- 0,014	- 0,013	- 0,026
60	- 0,002	- 0,001	- 0,002	- 0,025

A Tabela 6.29 mostra que as misturas contendo os AMRG1T's apresentaram aos cinco dias de idade maiores diferenças de retrações hidráulicas do que a recomendada pela norma indicando que houve retrações ligeiramente menores nas primeiras idades do que a prevista pela norma. No entanto, aos 30 e 60 dias as retrações ficaram dentro dos limites estabelecidos pela norma.

Na falta de valores de retrações, obtidas por ensaios, a norma NBR 6118 (ABNT, 2007) prescreve que podem ser utilizados em projetos de estruturas com concreto, valores calculados em função da umidade ambiente e da geometria do corpo de prova. O valor final da retração calculada de acordo com essa norma, utilizando os parâmetros adotados nos ensaios de retração hidráulica realizados no trabalho, foi de 0,042%.

Constatou-se, portanto, que as misturas contendo os AMRG1T's apresentaram maiores retrações hidráulicas finais do que a prescrita teoricamente pela norma. Entretanto, apesar de maiores, não foram observadas fissuras e/ou trincas aparentes em nenhuma dessas misturas.

A fim de se verificar a influência da variável (teor de AMRG1T) nas misturas elaboradas, efetuou-se uma análise estatística, por meio da ferramenta ANOVA, das médias dos resultados individuais encontrados nos ensaios de retração hidráulica. A Tabela 6.30 mostra os valores encontrados para os fatores  $F_0$  e  $F_\alpha$ .



TABELA 6.30: Valores de  $F_0$  e  $F_\alpha$  encontrados na análise estatística das médias dos resultados individuais dos ensaios de retração hidráulica, devido à influência do teor de AMRGT.

Fator	Misturas contendo teores variáveis de AMRG1T	Misturas contendo teores variáveis de AMRG2T	Misturas contendo teores variáveis de AMRG3T
$F_0$	76,49	71,63	54,74
$F_\alpha$	2,87	2,87	2,87

Constata-se por meio Tabela 6.30 que todos os valores de  $F_0$  são superiores ao de  $F_\alpha$ , indicando que houve influência significativa dos teores de AMRGT na retração hidráulica de todas as misturas de concreto.

#### 6.12 ENSAIO DE REATIVIDADE ÁLCALI-AGREGADO

Os ensaios para a verificação da reatividade dos álcalis do cimento com os AMRGT's foram realizados de acordo com a NBR 15577-4 (ABNT, 2008). Foram confeccionadas nove barras de argamassa das quais três continham 100% de AMRG1T, três 100% de AMRG2T e três 100% de AMRG3T.

As leituras das variações dos comprimentos das barras de argamassas foram realizadas em várias idades, conforme mostra a Tabela 6.31.

TABELA 6.31: Médias das expansões dos comprimentos das barras de argamassa contendo 100% de AMRGT's.

Idade (dias)	Expansões de barras contendo o AMRG1T (%)	Coefficiente de variação (%)	Expansões de barras contendo o AMRG2T (%)	Coefficiente de variação (%)	Expansões de barras contendo o AMRG3T (%)	Coefficiente de variação (%)
4	0,010	21,53	0,004	15,75	0,001	0,00
8	0,014	14,29	0,006	9,12	0,007	17,32
14	0,020	15,81	0,014	4,22	0,015	14,19
16	0,022	14,39	0,018	11,11	0,021	12,18
21	0,028	15,57	0,025	4,56	0,024	11,02
24	0,034	5,88	0,036	6,36	0,026	11,60
28	0,039	9,25	0,040	3,88	0,036	4,28
30	0,042	7,71	0,042	2,71	0,038	3,98

Por meio da Tabela 6.31 constata-se que todos os resultados são aceitáveis, pois todos os coeficientes de variação são menores do que 25%.

A Figura 6.22 ilustra as médias das expansões das barras de argamassa contendo 100% de AMRGT's.

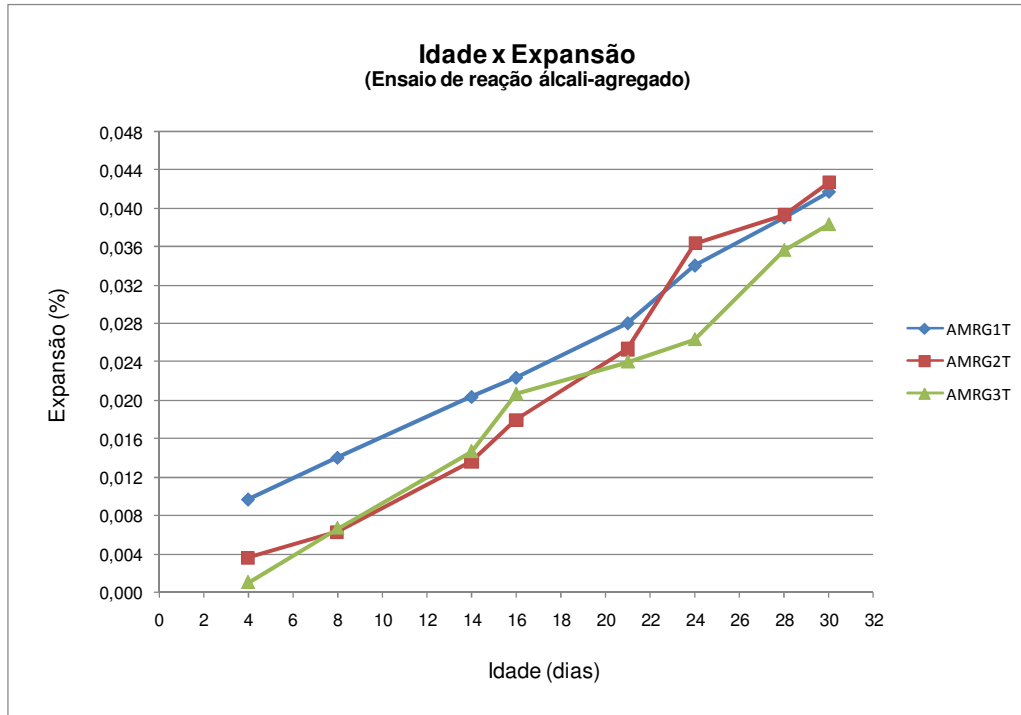


Figura 6.22: Ensaio de RAA - Expansões médias das barras de argamassa contendo 100% de AMRGT's.

De acordo com os resultados encontrados, conclui-se que os AMRGT's pesquisados podem ser utilizados no concreto sem o risco do desenvolvimento de RAA, pois a norma NBR 15577-1 (ABNT, 2008) estabelece que se o resultado obtido para as expansões das barras de argamassa, no ensaio acelerado, for menor do que 0,19% aos 30 dias de idade, o agregado pode ser considerado potencialmente inócuo.

A metodologia de ensaio da norma ASTM C 1260 (ASTM, 2007) é semelhante à da NBR 15577-1 (ABNT, 2008), e considera que se, aos 16 dias de idade, as barras de argamassa que apresentarem expansões:

- a) inferiores a 0,10% , são constituídas de agregado inócuo;
- b) iguais ou maiores do que 0,10% e menores do que 0,20%, são constituídas de agregado potencialmente deletério, devendo-se levar o ensaio até completar 28 dias de imersão em solução de hidróxido de sódio (1,0 M). Se aos 28 dias a expansão das barras for igual ou maior do que 0,20% o agregado é considerado deletério;
- c) iguais ou maiores do que 0,20%, são constituídas de agregado deletério.

Então, de acordo com os resultados encontrados no ensaio de RAA e com a norma ASTM C 1260, os AMRGT's estudados são classificados como inócuos.

A Figura 6.23 ilustra o aspecto físico das barras de argamassa, após a realização do ensaio de RAA, onde verifica-se a integridade das mesmas sem a presença de fissuras e/ou trincas.



Figura 6.23: Aspecto físico das barras de argamassa após a realização do ensaio de RAA pelo método acelerado.

## 6.13 CORRELAÇÕES

As correlações entre as diferentes propriedades foram obtidas por meio de regressões efetuadas com as médias dos resultados obtidos aos 28 dias de idade. Para tal foi utilizada a ferramenta “Análise de dados – Regressão” constante na planilha eletrônica Excel.

### 6.13.1 Resistência à compressão axial simples x resistência à tração por compressão diametral

a) Misturas contendo o AMRG1T

$$f_t = -1,331 + 0,161 \cdot f_c ; \text{ erro padrão} = 0,039 \text{ MPa} \quad (6.1)$$

b) Misturas contendo o AMRG2T

$$f_t = -0,792 + 0,145 \cdot f_c; \text{ erro padrão} = 0,046 \text{ MPa} \quad (6.2)$$

c) Misturas contendo o AMRG3T

$$f_t = -2,543 + 0,208 \cdot f_c; \text{ erro padrão} = 0,029 \text{ MPa} \quad (6.3)$$

onde:

$f_t$  – resistência à tração por compressão diametral (MPa);

$f_c$  – resistência à compressão axial simples (MPa).

### 6.13.2 Resistência à compressão axial simples x resistência à tração na flexão

a) Misturas contendo o AMRG1T

$$f_{tf} = -90,737 + 6,610 \cdot f_c - 0,115 \cdot f_c^2; \text{ erro padrão} = 0,032 \text{ MPa} \quad (6.4)$$

b) Misturas contendo o AMRG2T

$$f_{tf} = -1,009 + 0,176 \cdot f_c; \text{ erro padrão} = 0,115 \text{ MPa} \quad (6.5)$$

c) Misturas contendo o AMRG3T

$$f_{tf} = -37,468 + 2,831 \cdot f_c - 0,048 \cdot f_c^2; \text{ erro padrão} = 0,090 \text{ MPa} \quad (6.6)$$

onde:

$f_{tf}$  – resistência à tração na flexão (MPa);

$f_c$  – resistência à compressão axial simples (MPa).

### 6.13.3 Resistência à compressão axial simples x módulo de elasticidade

a) Misturas contendo o AMRG1T

$$E_{ci} = -683,408 + 48,927 \cdot f_c - 0,829 \cdot f_c^2; \text{ erro padrão} = 0,662 \text{ GPa} \quad (6.7)$$

b) Misturas contendo o AMRG2T

$$E_{ci} = 293,015 - 19,615 \cdot f_c + 0,367 \cdot f_c^2; \text{ erro padrão} = 0,317 \text{ GPa} \quad (6.8)$$

c) Misturas contendo o AMRG3T

$$E_{ci} = 0,086 \cdot f_c^{1,822}; \text{ erro padrão} = 1,054 \text{ GPa} \quad (6.9)$$

onde:

$E_{ci}$  – módulo de elasticidade (GPa);

$f_c$  – resistência à compressão axial simples (MPa).

#### 6.13.4 Resistência à compressão axial simples x coeficiente de Poisson

a) Misturas contendo o AMRG1T

$$\mu = -0,172 + 0,014 \cdot f_c; \text{ erro padrão} = 0,002 \quad (6.10)$$

b) Misturas contendo o AMRG2T

$$\mu = 4,280 - 0,305 \cdot f_c + 0,006 \cdot f_c^2; \text{ erro padrão} = 0,004 \quad (6.11)$$

c) Misturas contendo o AMRG3T

$$\mu = -0,136 + 0,012 \cdot f_c; \text{ erro padrão} = 0,003 \quad (6.12)$$

onde:

$\mu$  – coeficiente de Poisson;

$f_c$  – resistência à compressão axial simples (MPa).

#### 6.13.5 Resistência à tração por compressão diametral x resistência à tração na flexão

a) Misturas contendo o AMRG1T

$$f_{tf} = -49,416 + 32,810 \cdot f_t - 5,041 \cdot f_t^2; \text{ erro padrão} = 0,079 \text{ MPa} \quad (6.13)$$

b) Misturas contendo o AMRG2T

$$f_{ff} = -23,659 + 16,024 \cdot f_t - 2,315 \cdot f_t^2; \text{ erro padrão} = 0,065 \text{ MPa} \quad (6.14)$$

c) Misturas contendo o AMRG3T

$$f_{ff} = -10,400 + 8,073 \cdot f_t - 1,142 \cdot f_t^2; \text{ erro padrão} = 0,064 \text{ MPa} \quad (6.15)$$

onde:

$f_{ff}$  – resistência à tração na flexão (MPa);

$f_t$  – resistência à tração por compressão diametral (MPa).

### 6.13.6 Absorção de água por imersão x índice de vazios

a) Misturas contendo o AMRG1T

$$I_v = 5,471 + 1,431 \cdot A; \text{ erro padrão} = 0,013\% \quad (6.16)$$

b) Misturas contendo o AMRG2T

$$I_v = 3,714 + 1,674 \cdot A; \text{ erro padrão} = 0,023\% \quad (6.17)$$

c) Misturas contendo o AMRG3T

$$I_v = -237,898 + 69,788 \cdot A - 4,799 \cdot A^2; \text{ erro padrão} = 0,021\% \quad (6.18)$$

onde:

$I_v$  – índice de vazios (%);

$A$  – Absorção de água por imersão (%).

### 6.13.7 Absorção de água por imersão x absorção de água por capilaridade

a) Misturas contendo o AMRG1T

$$C_{72} = -14,379 + 2,217 \cdot A; \text{ erro padrão} = 0,055 \text{ g/cm}^2 \quad (6.19)$$

b) Misturas contendo o AMRG2T

$$C_{72} = -101,777 + 27,798 \cdot A - 1,867 \cdot A^2; \text{ erro padrão} = 0,032 \text{ g/cm}^2 \quad (6.20)$$

c) Misturas contendo o AMRG3T

$$C_{72} = 154,799 - 44,996 \cdot A + 3,294 \cdot A^2; \text{ erro padrão} = 0,036 \text{ g/cm}^2 \quad (6.21)$$

onde:

$C_{72}$  – absorção de água, por capilaridade, durante 72 horas ( $\text{g/cm}^2$ );

$A$  – Absorção de água por imersão (%).



## **7 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

### **7.1 CONCLUSÕES SOBRE AS PROPRIEDADES ESTUDADAS**

#### **7.1.1 Considerações iniciais**

Neste trabalho foram confeccionadas 16 misturas de concreto de cimento Portland, sendo uma mistura de referência contendo 100% de AMN, 12 misturas com cada uma delas contendo teores de 25%, 50%, 75% e 100% para cada um dos três tipos de AMRGT na granulometria NA e três misturas com cada uma delas contendo 100% de cada um dos três tipos de AMRGT na GO. As conclusões sobre cada uma das propriedades estudadas são apresentadas a seguir.

#### **7.1.2 Consistência**

Embora as partículas dos AMRGT's apresentem formas irregulares angulosas e textura áspera, decorrente do processo de trituração, as misturas contendo os AMRGT's são menos consistentes em relação à mistura de referência, ou seja, as consistências diminuem à medida que são aumentados os teores de AMRGT's, devido às menores absorções de água das misturas pelos AMRGT's, em relação ao AMN, que possibilitam a obtenção de misturas mais fluidas.

Comparando-se as misturas confeccionadas com os mesmos teores de AMRGT's, as misturas contendo o AMRG2T apresentam maiores consistências, pois esse tipo de agregado possui grãos com maior aspereza decorrente da maior porosidade da rocha de origem. Na sequência, as misturas contendo o AMRG1T são menos consistentes, seguidas pelas misturas contendo o AMRG3T.

As misturas confeccionadas com 100% de AMRGT's, na GO, são mais consistentes, em relação às misturas contendo 100% do mesmo tipo de AMRGT na granulometria NA, pois na GO os agregados triturados possuem melhor distribuição granulométrica que resulta em melhor intertravamento entre as partículas, dificultando a mobilidade relativa entre elas.

De todas as misturas estudadas, a mistura contendo 100% de AMRG3T na granulometria NA, é a menos consistente e apresenta um abatimento do tronco de cone 37,5% maior do que o da mistura de referência.

### **7.1.3 Exsudação**

As misturas contendo os AMRGT's apresentam menores exsudações, em relação à mistura de referência, ou seja, as exsudações diminuem à medida que são aumentados os teores de AMRGT's nas misturas, pois os agregados triturados possuem maiores quantidades de material pulverulento (partículas com dimensões menores do que 0,075 mm) que servem de barreira física, impedindo, em parte, o movimento ascendente da água até a superfície.

Pela mesma razão, as misturas contendo o AMRG2T, quando comparadas com outras misturas contendo os mesmos teores de AMRGT's, apresentam as menores exsudações, seguidas, respectivamente, pelas misturas contendo o AMRG1T e pelas misturas contendo o AMRG3T.

A menor exsudação é obtida com a mistura contendo 100% de AMRG2T, na granulometria NA, sendo 17,1% menor do que a da mistura de referência.

### **7.1.4 Resistência à compressão axial simples e resistência à tração por compressão diametral**

As resistências à compressão axial simples e à tração por compressão diametral das misturas contendo os AMRGT's são afetadas, favoravelmente, em relação à mistura de referência cujas partículas do AMN possuem formas arredondadas e lisas, pela forma angulosa e pela textura áspera dos grãos obtidos no processo de trituração dos RGT's, pois proporcionam melhor intertravamento e melhor aderência com a pasta de cimento, minimizando as microfissurações nas zonas de transição agregado-pasta de cimento, incrementando essas resistências.

As misturas contendo o AMRG1T ou o AMRG2T apresentam, até o teor de 75%, incrementos nessas resistências à medida que aumentam os teores desses AMRGT's nas misturas. No entanto, para o teor de 100% observa-se diminuição nessas resistências devido às baixas absorções de água, por esses AMRGT's, que disponibilizam maiores quantidades de água nas misturas, provocando aumentos excessivos das porosidades das matrizes das pastas de cimento ou das zonas de transição entre o agregado e a pasta de cimento, prejudicando essas resistências.

As misturas contendo 100% de AMRGT's, na GO, apresentam maiores resistências à compressão axial e à tração por compressão diametral do que as misturas contendo 100% do mesmo tipo de AMRGT na granulometria NA, pois na GO o agregado possui melhor distribuição granulométrica, resultando em misturas mais compactas com menor teor de ar aprisionado.

O máximo ganho médio de resistência à compressão axial simples, em relação à mistura de referência, é de 21,8% e ocorre com a mistura contendo 75% de AMRG2T.

As maiores resistências à tração por compressão diametral são obtidas com a mistura contendo 100% de AMRG3T na GO. Em relação à mistura de referência o ganho médio de resistência, dessa mistura, é de 20,7%.

### **7.1.5 Resistência à tração na flexão**

Essa propriedade é afetada favoravelmente, em relação à mistura de referência, pela melhor aderência dos AMRGT's com a pasta de cimento devido à textura áspera dos seus grãos. Por essa razão, as misturas contendo o AMRG2T apresentam as maiores resistências.

Constata-se a elevação da resistência à tração na flexão à medida que for aumentando os teores de AMRGT's nas misturas, obtendo-se as maiores resistências com as misturas contendo 100% de AMRGT's, na GO.

A mistura contendo 100% de AMRG2T, na GO, apresenta a maior resistência à tração na flexão, com um ganho médio de 13,8% em relação à mistura de referência.

### **7.1.6 Módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson**

As misturas contendo os AMRGT's apresentam módulos de elasticidade e coeficientes de Poisson superiores aos da mistura de referência, ou seja, há incrementos dos mesmos à medida que aumentam os teores de AMRGT's. Isto ocorre, pois os AMRGT's possuem massas específicas aparentes maiores do que a do AMN, significando menores porosidades e conseqüentemente menores deformações longitudinais sob a ação de forças.

Também, em relação à mistura de referência cujo agregado miúdo possui grãos arredondados e lisos, a forma angulosa e a textura áspera dos grãos das misturas contendo os AMRGT's proporcionam menores microfissurações nas interfaces agregado-pasta de cimento, minimizando as deformações longitudinais, sob a ação de forças, com conseqüente elevação dos módulos de elasticidade e dos coeficientes de Poisson.

Constata-se, em relação à mistura de referência, um aumento máximo de 26,8% no valor do módulo de elasticidade e de 21,6% no valor do coeficiente de Poisson, obtidos com a mistura contendo 100% de AMRG3T na GO.

Apesar dos valores obtidos para os coeficientes de Poisson serem ligeiramente diferentes do valor prescrito pela norma NBR 6118 (ABNT, 2007), não são observadas anomalias tais como fissuras e/ou trincas ou desagregações nas laterais dos corpos de prova, durante a realização dos ensaios para a determinação desses coeficientes.

### **7.1.7 Absorção de água por imersão e índice de vazios**

Para as misturas contendo os AMRGT's, observam-se menores absorções de água por imersão e menores índices de vazios, em relação à mistura de referência, devido ao preenchimento e distribuição dos vazios com partículas de AMRGT's de menores dimensões (menores do que 0,15 mm). Também as menores absorções de água pelos AMRGT's, em relação ao AMN, contribuem para as menores absorções de água das misturas contendo os AMRGT's.

Constatam-se reduções nas absorções de água por imersão e no índice de vazios à medida que aumentam os teores de AMRGT's nas misturas.

Comparando-se as misturas com mesmos teores de AMRGT's, as misturas contendo o AMRG2T apresentam as menores absorções de água por imersão e os menores índices de vazios, pois esse tipo de AMRGT possui, além do maior teor de material pulverulento, a menor absorção de água. Pelas mesmas razões, as misturas contendo o AMRG1T ou o AMRG3T apresentam, respectivamente, maiores absorções de água por imersão e maiores índices de vazios do que as misturas contendo o AMRG2T.

As misturas contendo 100% de AMRGT's, na GO, apresentam menores absorções de água por imersão e menores índices de vazios do que as misturas contendo 100% do mesmo tipo de AMRGT na granulometria NA, pois na GO os AMRGT's possuem melhor distribuição granulométrica com menores volumes de vazios.

A mistura contendo 100% de AMRG2T, na GO, é a que apresenta a menor absorção de água por imersão, com uma redução média de 5,4% em relação à mistura de referência. Também essa mistura apresenta o menor índice de vazios com uma redução média de 4,0% em relação à mistura de referência.

#### **7.1.8 Absorção de água por capilaridade**

Em relação à mistura de referência, as misturas contendo os AMRGT's apresentam menores de absorções de água por capilaridade devido à maior quantidade de material pulverulento presente nos AMRGT's e às menores absorções de água por esses agregados, em relação ao AMN.

Constata-se que à medida que se elevam os teores de AMRGT's nas misturas, há reduções nas absorções de água por capilaridade das mesmas.

Para um mesmo teor, as menores absorções de água por capilaridade são obtidas com as misturas contendo o AMRG2T, pois esse tipo de agregado é o que apresenta o maior teor de material pulverulento e a menor absorção de água.

As misturas contendo 100% de AMRGT's, na GO, apresentam menores absorções de água por capilaridade do que as misturas contendo 100% do mesmo tipo de AMRGT na granulometria NA, devido aos menores índices de vazios dos AMRGT's na GO.

A menor absorção de água por capilaridade pode ser obtida por meio da mistura contendo 100% de AMRG2T na GO. Com essa mistura obtém-se, em relação à mistura de referência, uma redução média de 49,7% nessa absorção.

#### **7.1.9 Massa específica da amostra seca**

As misturas contendo os AMRGT's apresentam massas específicas das amostras secas superiores à da mistura de referência, pois os AMRGT's possuem massas específicas aparentes maiores do que a do AMN.

À medida que aumentam os teores de AMRGT's nas misturas, há incrementos nas massas específicas das amostras secas das mesmas.

Comparando-se as misturas com os mesmos teores de AMRGT's, as misturas contendo o AMRG3T são as que apresentam as maiores massas específicas das amostras secas, seguidas, respectivamente, pelas misturas contendo o AMRG1T e pelas misturas contendo o AMRG2T.

As misturas contendo 100% de AMRGT's, na GO, apresentam massas específicas das amostras secas superiores às das misturas contendo 100% do mesmo tipo de AMRGT na granulometria NA, pois na GO, os AMRGT's possuem maiores massas específicas aparentes.

A mistura contendo 100% de AMRG3T, na GO, apresenta a maior massa específica da amostra seca, superando em 2,3% a da mistura de referência.

Os valores encontrados para as massas específicas das amostras secas atendem aos limites estabelecidos na norma NBR 6118 (ABNT, 2007), para concretos de massa específica normal, que devem estar compreendidos entre 2000 kg/m<sup>3</sup> e 2800 kg/m<sup>3</sup>.

#### **7.1.10 Retração hidráulica**

Em relação a essa propriedade, as misturas contendo os AMRGT's apresentam valores superiores, aos da mistura de referência, devido à maior quantidade de material pulverulento presente nos AMRGT's que possibilita o refinamento das misturas e, conseqüentemente, a formação de poros capilares

através dos quais pode ser eliminada a água adsorvida, causando retração hidráulica.

Constata-se que há aumentos nas retrações hidráulicas à medida que são incrementados os teores de AMRGT's nas misturas.

As misturas contendo o AMRG2T apresentam, quando comparadas com outras misturas contendo os mesmos teores de AMRGT's, as maiores retrações hidráulicas, seguidas, respectivamente, pelas misturas contendo o AMRG1T e pelas misturas contendo o AMG3T.

A mistura contendo 100% de AMRG2T, na GO, apresenta a maior retração hidráulica superando em 54,8% à da mistura de referência.

Apesar das misturas contendo os AMRGT's apresentarem maiores retrações hidráulicas do que a mistura de referência, não se observam fissuras e/ou trincas aparentes em nenhuma delas.

#### **7.1.11 Reatividade álcali-agregado**

Todas as barras de argamassa contendo os AMRGT's apresentam expansões nos comprimentos até completarem 30 dias de idade. Porém as expansões máximas são inferiores à recomendada pela NBR 15577-1 (0,19%), permitindo-se concluir que os AMRGT's pesquisados são potencialmente inócuos e podem ser utilizados em concretos sem o risco de desenvolvimento de RAA.

A máxima expansão é de 0,043% e ocorre com as barras de argamassa contendo o AMRG2T.

### **7.2 CONCLUSÃO FINAL**

Os resultados obtidos neste trabalho indicam que é tecnicamente viável a substituição do AMN pelos AMRGT's, pois os mesmos apresentam características que possibilitam obter misturas de concreto com propriedades adequadas ao uso corrente em estruturas de concreto.

### 7.3 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A viabilidade técnica e econômica para a utilização de um novo produto depende de várias ações além das já realizadas neste trabalho. Por isso sugere-se o estudo de algumas delas tais como:

- a) verificação da repetitividade dos ensaios apresentados neste trabalho;
- b) verificação do comportamento de misturas utilizando outros tipos e teores de AMRGT;
- c) verificação do comportamento de misturas confeccionadas com outros tipos de aglomerantes e contendo tipos e teores variados de AMRGT;
- d) verificação de outras propriedades das misturas no estado endurecido, tais como aderência à tração, aderência ao cisalhamento, abrasão e desgaste, ataque de produtos químicos, reatividade álcali-agregado em prismas de concreto, etc;
- e) verificação da influência das porosidades dos RGT's nas propriedades das misturas contendo AMRGT's.
- f) verificação do custo/benefício para a produção de concretos contendo os AMRGT's.



## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIROCHAS. Conceitos e definições. Disponível em: <[http://www.abirochas.com.br/rochas\\_ornamentais\\_01.php](http://www.abirochas.com.br/rochas_ornamentais_01.php)>. Acesso em: 16 abr. 2009.

\_\_\_\_\_. Rochas silicáticas – Granitos. Disponível em: <[http://www.abirochas.com.br/rochas\\_ornamentais\\_02\\_1.php](http://www.abirochas.com.br/rochas_ornamentais_02_1.php)>. Acesso em: 18 abr. 2009.

\_\_\_\_\_. Noções gerais do beneficiamento. Disponível em: <[http://www.abirochas.com.br/rochas\\_ornamentais\\_04.php](http://www.abirochas.com.br/rochas_ornamentais_04.php)>. Acesso em: 03 mai. 2009.

\_\_\_\_\_. Serragem em teares. Disponível em: <[http://www.abirochas.com.br/rochas\\_ornamentais\\_04\\_1.php](http://www.abirochas.com.br/rochas_ornamentais_04_1.php)>. Acesso em: 16 mai. 2009.

\_\_\_\_\_. Serragem em talha-blocos. Disponível em: <[http://www.abirochas.com.br/rochas\\_ornamentais\\_04\\_2.php](http://www.abirochas.com.br/rochas_ornamentais_04_2.php)>. Acesso em: 26 mai. 2009.

\_\_\_\_\_. Acabamento de superfícies. Disponível em: <[http://www.abirochas.com.br/rochas\\_ornamentais\\_04\\_3.php](http://www.abirochas.com.br/rochas_ornamentais_04_3.php)>. Acesso em: 02 jun. 2009.

\_\_\_\_\_. Catálogo Brasileiro – Rochas Ornamentais – Granito Cinza Bressan. Disponível em: <[http://www.abirochas.com.br/rocha.php?rocha\\_id=94](http://www.abirochas.com.br/rocha.php?rocha_id=94)>. Acesso em: 22 jun. 2009.

\_\_\_\_\_. Catálogo Brasileiro – Rochas Ornamentais – Granito Verde Labrador. Disponível em: <[http://www.abirochas.com.br/rocha.php?rocha\\_id=146](http://www.abirochas.com.br/rocha.php?rocha_id=146)>. Acesso em: 22 jun. 2009.

\_\_\_\_\_. Catálogo Brasileiro – Rochas Ornamentais – Granito Marrom Graphite. Disponível em: <[http://www.abirochas.com.br/rocha.php?rocha\\_id=220](http://www.abirochas.com.br/rocha.php?rocha_id=220)>. Acesso em: 22 jun. 2009.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, ACI. E1-07. Aggregates for Concrete. ACI Education Bulletin E1-07. Farmington Hills, MI. USA. August 2007.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, ASTM C 1260. Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar-Bar Method). West Conshohocken, PA. USA. 2007.

ALENCAR, C. R. A. Série de estudo econômico sobre rochas ornamentais v.3. Tecnologia de lavra e beneficiamento de rochas ornamentais. Fortaleza: Instituto Euvaldo Lode, 255p. 1996.

ALVES, J. D. *Materiais de construção*. 6. ed. Goiânia: Editora da UFG, 1987.

\_\_\_\_\_. *Manual de tecnologia do concreto*. 3. ed. Goiânia: Editora da UFG, 1993.

AMBIENTE BRASIL. 2009. Reciclagem de entulho. Disponível em: <[http://ambientes.ambientebrasil.com.br/residuos/reciclagem/reciclagem\\_de\\_entulho.html#>](http://ambientes.ambientebrasil.com.br/residuos/reciclagem/reciclagem_de_entulho.html#>). Acesso em: 12 abr. 2009.

ANDRADE, W. P. (Ed.). EQUIPE DE FURNAS, LABORATÓRIO DE CONCRETO. *Concretos massa, Estrutural, Projetado e Compactado com Rolo*. Ed. PINI, São Paulo, 1997.

ANDRADE, F. R.; MOURA, W. A. Utilização do resíduo de corte de mármore e granito (RCMG) na Construção civil. 2002 Disponível em: <[http://www.univap.br/inic2002/inic\\_resumo\\_3.htm](http://www.univap.br/inic2002/inic_resumo_3.htm)>. Acesso em: 27 mai. 2009.

ANDRIOLO, F. R. Documentação sobre o panorama brasileiro – Relatório final. In: *Simpósio sobre reatividade álcali-agregado em estruturas de concreto, Goiania*, 1997.

ANGULO, S. C.; JOHN, V. M. Normalização dos agregados graúdos de resíduos de construção e demolição reciclados para concretos e a variabilidade. In: IX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. 2002. Foz do Iguaçu - Paraná – Brasil. Disponível em: <<http://www.reciclagem.pcc.usp.br/>>. Acesso em: 12 abr. 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. *NBR 5738 – Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova*, Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. *NBR 5739 – Concreto – Ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos*, Rio de Janeiro, 2007.

\_\_\_\_\_. *NBR 6118 – Projeto de estruturas de concreto – Procedimento*, Rio de Janeiro, 2007.

\_\_\_\_\_. *NBR 7211 – Agregados para concreto – Especificação*, Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. *NBR 7218* – Teor de argila em torrões e materiais friáveis, Rio de Janeiro, 1987.

\_\_\_\_\_. *NBR 7222* – Concreto e argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos, Rio de Janeiro, 2011.

\_\_\_\_\_. *NBR 7809* – Agregado graúdo – Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro – Método de ensaio, Rio de Janeiro, 2008.

\_\_\_\_\_. *NBR 8522* – Concreto – Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão, Rio de Janeiro, 2008.

\_\_\_\_\_. *NBR 9778* – Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica, Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. *NBR 9779* – Argamassa e concreto endurecido – Determinação da absorção de água por capilaridade, Rio de Janeiro, 1995.

\_\_\_\_\_. *NBR 10004* – Resíduos sólidos – Classificação, Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_\_. *NBR 10006* – Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos, Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_\_. *NBR 12142* – Concreto – Determinação da resistência à tração na flexão em corpos de prova prismáticos, Rio de Janeiro, 2010.

\_\_\_\_\_. *NBR 15558* – Concreto – Determinação da exsudação, Rio de Janeiro, 2008.

\_\_\_\_\_. *NBR 15577-1* – Agregados – Reatividade álcali-agregado. Parte 1: Guia para avaliação da reatividade potencial e medidas preventivas para uso de agregados em concreto, Rio de Janeiro, 2008.

\_\_\_\_\_. *NBR 15577-4* – Agregados – Reatividade álcali-agregado. Parte 4: Determinação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado, Rio de Janeiro, 2008.

\_\_\_\_\_. *NBR NM 30* – Agregado miúdo – Determinação da absorção de água, Rio de Janeiro, 2001.

\_\_\_\_\_. *NBR NM 46* – Agregados – Determinação do material fino que passa através da peneira 75 um, por lavagem, Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. *NBR NM 49* – Agregado miúdo – Determinação de impurezas orgânicas, Rio de Janeiro, 2001.

\_\_\_\_\_. *NBR NM 51* – Agregado graúdo – Ensaio de abrasão “Los Angeles”, Rio de Janeiro, 2001.

\_\_\_\_\_. *NBR NM 52* – Agregado miúdo – Determinação de massa específica e massa específica aparente, Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. *NBR NM 53 – Agregado graúdo – Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água*, Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. *NBR NM 67 – Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone*, Rio de Janeiro, 1998.

\_\_\_\_\_. *NBR NM 248 – Agregados – Determinação da composição granulométrica*, Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. *NM 131 – Concreto endurecido – Determinação da retração hidráulica ou higrométrica do concreto*, Rio de Janeiro, 1998.

BARROTE, L. G. Utilização de rejeitos (cacos) de mármore em massas cerâmicas – Parte-1. *In: 44º Congresso Brasileiro de Cerâmica*. São Paulo, 31/maio-04/junho, 2000, p.19901-19914.

BIGNO, I. C. *Aproveitamento do resíduo de corte de rochas ornamentais como fíler mineral em compósitos de matriz polimérica e cimentícia*. 2002. 175f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Fluminense, Niterói. 2002

BILODEAU, A.; MALHOTRA, V. M. High-volume fly ash system: concrete solution for sustainable development. *ACI Materials Journal*, Jan.-Feb., p. 41-48, 2000.

BUEST NETO, G. T. *Estudo da substituição de agregados miúdos naturais por agregados miúdos britados em concretos de cimento Portland*. 2006. 169f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2006.

CALMON, J. L.; TRISTÃO, F. A.; LORDÊLLO, F. S. S.; DA SILVA, S. A. C.; MATTOS, F. V. Reciclagem do resíduo de corte de granito para a produção de argamassas. *In: I Encontro Nacional sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis*. Canela, 18-21 junho, 1997.

CALMON, J. L.; TRISTÃO, F. A.; LORDÊLLO, F. S. S.; DA SILVA, S. A. C.; MATTOS, F. V. Aproveitamento do resíduo de corte de granito para a produção de tijolos de solo-cimento. *In: VII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído Qualidade no Processo Construtivo*. Florianópolis, 27-30 abril, 1998.

CAPUTO, H. P. *Mecânica dos solos e suas aplicações*. 6. ed. v. 1. Rio de Janeiro: LTC Editora, 1988.

CARANASSIOS, A.; VIDAL, F. W. H. Lavra de rochas ornamentais e de revestimento. *In: Seminário Nacional de Tecnologia Mineral*. CETEM. Rio de Janeiro, 09 jun 2006.

CEPOLINA. Fio diamantado. Disponível em: <[http://www.cepolina.com/ imagemgratis/f/Outros.objectos.tecnologia/Fio.diamantado.BG.jpg](http://www.cepolina.com/imagemgratis/f/Outros.objectos.tecnologia/Fio.diamantado.BG.jpg)>. Acesso em: 02 jun. 2009.

CHEN, J. J.; CHAMBERS, D. Sustainability and the impact of Chinese policy initiatives upon construction. *Construction Management and Economics*. nº 17, p.679-687, 1999.

CHIODI FILHO, C. Situação atual e perspectivas brasileiras no setor de rochas ornamentais. *Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais – ABIROCHAS*. Informe 02/2008 – p.01-38, fevereiro, 2008.

CIDADES DO BRASIL. Bota Fora. Maio 2003. 41ª Ed. Disponível em: <<http://www.cidadesdobrasil.com.br/cgicn/news.cgi?cl=099105100097100101098114&arecod=19&newcod=24>>. Acesso em: 13 abr. 2009.

CONAMA, 2002. Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002. Disponível em: <[http://www.cetesb.sp.gov.br/licenciamentoo/legislacao/federal/resolucoes/2002\\_Res\\_CONAMA\\_307.pdf](http://www.cetesb.sp.gov.br/licenciamentoo/legislacao/federal/resolucoes/2002_Res_CONAMA_307.pdf)>. Acesso em: 10 abr. 2009.

CORTE BLOCOS. Teares e multifios. Lâminas. Disponível em: <<http://corteblocos.blogspot.com/2007/09/lminas.html>>. Acesso em: 17 mai. 2009.

\_\_\_\_\_. Teares e multifios. Fios diamantados – gralha e lâminas para teares. Disponível em: <<http://corteblocos.blogspot.com/2007/09/fios-diamantados-gralha-e-lminas-para.html>>. Acesso em: 17 mai. 2009.

COURA, C.V.G. *Estudo da influência da dimensão do agregado e do corpo-de-prova na resistência à compressão axial do concreto*. 2006. 93f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal Fluminense, Niterói. 2006.

\_\_\_\_\_. *Análise experimental sobre a substituição do agregado miúdo por mármore triturado na confecção de concreto*. 2009. 195f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal Fluminense, Niterói. 2009.

COUTINHO, A. S. *Fabrico e propriedades do betão*. Vol.1 LNEC. 1973.

DENT GLASSER, L. S.; KATAOKA, N. The chemistry of alkali-aggregate reaction. *Cement and Concrete Research*, v.1, n.3, p. 1-9, 1981.

DÍAZ, V. O. *Método de dosagem de concreto de elevado desempenho*. Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., Rio de Janeiro, 1997.

FARIAS, M. M.; PALMEIRA, E. M. Agregados para a construção civil. *Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais*. ed. G. C. Isaia. v. 1, 2. ed. São Paulo, IBRACON, 2010.

FERREIRA, R. Avanços tecnológicos na recuperação de materiais provenientes dos resíduos sólidos industriais, *Golder Associates Brasil - SP*, jun 2004, p.01-23. Disponível em: <[http://www.fiesp.com.br/download/VI\\_Semana\\_M\\_Ambiente\\_Fiesp\\_Ciesp/rosangela\\_revfinal.PDF](http://www.fiesp.com.br/download/VI_Semana_M_Ambiente_Fiesp_Ciesp/rosangela_revfinal.PDF)>. Acesso em: 28 mar. 2009.

FINESTRA. 2007. Disponível em: <<http://www.ecoesfera.com.br/imprensa/?construcao-civil-e-o-setor-que-mais-consome-recursos-naturais-no-mundo>>. Acesso em: 08 abr. 2009.

GOBBO, L. A.; MELLO, I. S. C.; QUEIRÓZ, F. C.; FRASCÁ, M. H. B. O. Aproveitamento de resíduos industriais. A cadeia produtiva de rochas ornamentais e para revestimento no Estado de São Paulo: diretrizes e ações para inovação e competitividade. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 2004, p.129-152.

GONÇALVES, J. P. *Utilização do resíduo de corte de granito (RCG) como adição para produção de concretos*. 2000. 120f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2000

GONÇALVES, J. P.; MOURA, W. A.; DAL MOLIN, D. C. C. Avaliação da influência da utilização do resíduo de corte de granito (RCG), como adição, em propriedades mecânicas do concreto, *Ambiente Construído*, jan/mar 2002, v. 2, n. 1, p.53-68.

HELENE, P. R. L.; TERZIAN, P. *Manual de dosagem e controle do concreto*. Ed. PINI, São Paulo, 1993.

HERRMANN, H. *Política de aproveitamento de areia no estado de São Paulo: dos conflitos existentes às compatibilizações possíveis*. Rio de Janeiro. CETEM/CNPQ, 186p. 2002.

HEWLETT, P. *Lea's chemistry of cements and concrete*. Ed. Arnold, London, 1998

HOBBS, D. W. Influence of pulverized-fuel ash and granulated blastfurnace slag upon expansion caused by the alkali-silica reaction. *Magazine of Concrete Research*. N. 119, V. 34, p.488-494, Junho de 1982.

\_\_\_\_\_. *Alkali-silica reaction in concrete*. 1. ed. London: Ed. Thomas Telford Ltd, 1988.

ILLSTON, J. M.; SPON, F. N. *Construction materials – their nature and behaviour*. London, 1994

JOHN, V. M. *Reciclagem de resíduos na Construção Civil: Contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento*. São Paulo: EPUSP, 2000. 113p (Tese de Livre Docência).

JOHN, V. M.; AGOPYAN, V. Reciclagem de resíduos da construção. Disponível em: <<http://www.reciclagem.pcc.usp.br/ftp/cetesb>>. Acesso em: 17 nov. 2009.

JOHN, V. M. Desenvolvimento sustentável, construção civil, reciclagem e trabalho multidisciplinar. Disponível em: <[http://www.reciclagem.pcc.usp.br/des\\_sustentavel.htm](http://www.reciclagem.pcc.usp.br/des_sustentavel.htm)>. Acesso em: 04 abr. 2009.

KATAYAMA, T. How to identify carbonate rock reactions in concrete. *Materials Characterizations*, v. 53, p. 85-104, 2004.

KIHARA, Y. Reação álcali-agregado: aspectos mineralógicos. *In: I Simpósio Nacional de Agregados*. São Paulo, junho, 1986, p.127-138.

LAMA, E. A. D. Os minerais e suas aplicações. Disponível em: <[http://www.igc.usp.br/geologia/o\\_uso\\_dos\\_minerais.php](http://www.igc.usp.br/geologia/o_uso_dos_minerais.php)>. Acesso em: 18 abr. 2009.

LEVY, S. M.; HELENE, P. R. L. *Evolução histórica da utilização do concreto como material de construção*. São Paulo: EPUSP, 2002. 12p (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP).

LISBÔA, E. M. *Obtenção do concreto auto-adensável utilizando resíduo do beneficiamento do mármore e granito e estudo de propriedades mecânicas*. 2004. 121f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió. 2004

LISBÔA, E. M.; GOMES, P. C. C.; LIMA, F. B.; BARBOZA, A. S. R.; LAMEIRAS, R. M. Obtenção de pastas e argamassas altamente fluídas com resíduo da serragem dos blocos de granito para utilização em concretos auto-adensável. *In: I Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável e X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído*. São Paulo, 18-21/junho, 2004.

MARBLE. CO.FI.PLAST BRASIL: lançamentos e inovações durante a Feira de Cachoeiro. Disponível em: <<http://www.marble.com.br/article/articleview/1324/1/47/>>. Acesso em: 02 jun. 2009.

MARCONDES, C. G. Brita lamelar x qualidade do concreto. Disponível em: <<http://www.cimentoitambe.com.br/massa-cinzenta/brita-lamelar-x-qualidade-do-concreto/>>. Acesso em: 12 jul. 2009.

MEIO AMBIENTE. Rochas. Disponível em: <<http://www.meioambiente.pro.br/arpoador/rochas.html>>. Acesso em: 21 abr. 2009.

MENEZES, R. R.; FERREIRA, H. S.; NEVES, G. A.; FERREIRA, H. C. Uso de rejeitos de granitos como matérias-primas cerâmicas. *Cerâmica*. N. 48, p.92-101, 2002.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. *Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais*. 3. ed. São Paulo: IBRACON, 2008.

MOREIRA, J. M. S.; FREIRE, M. N.; HOLANDA, J. N. F. Utilização de resíduo de serragem de granito proveniente do estado do Espírito Santo em cerâmica vermelha. *Cerâmica*. N. 49, p.262-267, 2003.

MOREIRA, J. M. S.; MANHÃES J. P. V. T.; HOLANDA, J. N. F. Reaproveitamento de resíduo de rocha ornamental proveniente do noroeste fluminense em cerâmica vermelha. *Cerâmica*. N. 51, p.180-186, 2005.

MOTHÉ FILHO, H. F.; POLIVANOV, H.; MOTHÉ, C. G. Reciclagem dos resíduos sólidos de rochas ornamentais. *Anuário do Instituto de Geociências, Instituto de Geociências - UFRJ*, 2005, 28-2, p.139-151.

- MOURA, W. A.; GONÇALVES, J.P. Utilização do resíduo do beneficiamento de rochas ornamentais (mármore e granitos) na Construção Civil. *In: IX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído*. Foz do Iguaçu, 7-10 maio, 2002, p.1653-1659.
- MOURA, W. A.; GONÇALVES, J. P.; LEITE, R. S. Utilização do resíduo de corte de mármore e granito em argamassas de revestimento e confecção de lajotas para piso, *Sitientibus*, jan/jun 2002, n. 26, p.49-61.
- NEVES, G. A.; PATRÍCIO, S. M. R.; FERREIRA, H. C.; SILVA, M. C. Utilização de resíduos da serragem de granitos para confecção de tijolos cerâmicos. *In: 43º Congresso Brasileiro de Cerâmica*. São Paulo, 02-05/junho, 1999, p.00601-00612.
- NEVES, G. A.; FERREIRA, H. C.; SILVA, M. C. Potencial de utilização de resíduo da serragem de granito na fabricação de revestimentos cerâmicos – Parte-1. *In: 44º Congresso Brasileiro de Cerâmica*. São Paulo, 31/maio-04/junho, 2000, p.19901-19914.
- NEVES, G. A. Reciclagem de resíduos da serragem de granitos para uso como matéria-prima cerâmica. 2002. 121f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande. 2002
- NEVILLE, A. M. *Propriedades do concreto*. (Tradução: Salvador Giammusso). 2. ed. São Paulo: PINI, 1997.
- NUNES, R. L. S.; NEVES, G. A.; SANTANA, L. N. L.; FERREIRA, H. C. Placas cerâmicas obtidas pelo processo de laminação utilizando resíduo de granito. *In: 47º Congresso Brasileiro de Cerâmica*. Proceedings... João Pessoa, 15-18/junho, 2003a, p.14-23.
- NUNES, R. L. S.; NEVES, G. A.; SANTANA, L. N. L.; FERREIRA, H. C. Reciclagem de rejeitos de mármore e granitos utilizados em substituição a matérias primas convencionais para produção de revestimentos cerâmicos. *In: 47º Congresso Brasileiro de Cerâmica*. Proceedings... João Pessoa, 15-18/junho, 2003b, p.25-33.
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS - ONU. Agenda 21. 1992. Disponível em: <<http://habitat.igc.org/agenda21/index.html>>. Acesso em: 04 abr. 2009.
- PAULON, V. A.; ARMELIN, J. L. Diagnóstico e recuperação de barragem apresentando reação álcali-agregado. *In: Simpósio sobre reatividade álcali-agregado em estruturas de concreto, Goiânia*, 1997.
- PENHA, C. O.; MAMERI, E. A.; MACHADO, M. A. A lama abrasiva e seu controle. 1996. 86f. Monografia (Especialização em Rochas Ornamentais) – Universidade Federal do Espírito Santo e Centro Tecnológico do Mármore e Granito, Cachoeiro de Itapemirim. 1996
- PENTTALA, V. Concrete and sustainable development. *ACI Materials Journal*, Sep.-Oct., p. 409-416, 1997.



PETRUCCI, E. G. R. *Concreto de cimento Portland*. 11. ed. Rio de Janeiro: Globo, 1987.

PINHEIRO, W. M. G. *Utilização do resíduo da extração da pedra mineira como agregado no concreto*. 2003. 202f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2003

PINTO, T. P. *Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana*. 1999. 189p. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 1999.

PINTO, T. P. *Gestão ambiental de resíduos da construção civil: a experiência do SindusCon-SP*. 1. ed. São Paulo: SINDUSCON-SP, 2005.

PONTES, I. F.; STELLIN JÚNIOR, A. *Utilização de finos de serrarias do Espírito Santo nas indústrias de Construção Civil*. In: IBERMAC Primeras Jornadas Iberoamericanas sobre “Caracterización y Normalización de Materiales de Construcción, 2001, Madri, Espanha.

PONTES, I. F.; VIDAL, F. W. H. *Valorização de resíduos de serrarias de mármore e granito e sua aplicação na construção civil*. In: V Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste, 13-15 Novembro, 2005, Recife, p. 117.

PONTES, I. F.; STELLIN JÚNIOR, A. *Aproveitamento de resíduos de serrarias na indústria de construção civil*. In: VII Jornadas Argentinas de Ingenieria de Minas, 15-17 Novembro, 2005, Buenos Aires, Argentina, p. 413.

POOLE, A. B.; SIMS, I. *Concrete petrography – A handbook of investigative techniques*. Ed. Arnold. London, 1998.

REIS, R. C.; SOUZA, W. T. *Métodos de lavra de rochas ornamentais*. Revista Escola de Minas. v.56. n. 03. Ouro Preto, 2003.

REIS, R. L. G. *Agregados para Construção Civil*. *Brasil Mineral*. nº274, p. 26-29, 2008.

RIBEIRO, J. L. D. *Projeto de experimentos na otimização de produtos e processos*. Notas se aula. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFRGS. Jan/1995.

ROCHA, J. C.; CHERIAF, M. *Aproveitamento de resíduos na construção*. *Coletânea HABITARE: Utilização de resíduos na construção habitacional*. Porto Alegre: Ed. Rocha e John, 2003, Vol. 4, Cap. 3, p.72-93.

ROCHA, J. C.; JOHN, V. M. *Introdução*. *Coletânea HABITARE: Utilização de resíduos na construção habitacional*. Porto Alegre: Ed. Rocha e John, 2003, Vol. 4, Cap. 1, p.4-7.

SCHENINI, P. C.; BAGNATI, A. M. Z.; CARDOSO, A. C. F. *Gestão de resíduos da construção civil*. In: Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário, Outubro, 2004, Florianópolis, p.1-13.

SCHWING, K. *Use of Fly Ash in the Mitigation of Alkali-Silica Reaction in Concrete*. 2010. 116 f. M.Sc. (Thesis). Oregon State University, Corvallis, Oregon, USA. Disponível em: <<http://ir.library.oregonstate.edu/xmlui/bitstream/handle/1957/19552/SchwingKelseaA2201.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 26 abr. 2011.

SILVA, P. F. *Durabilidade das estruturas de concreto aparente em atmosfera urbana*. Ed. PINI, São Paulo, 1995

SILVA, N. G. *Argamassa de revestimento de cimento, cal e areia britada de rocha calcária*. 2006. 164f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

SINTO. Aplicações em corte de granito. Cortando um bloco de granito. Disponível em: <[http://www.sinto.com.br/pt/granalha/corte\\_granito.htm](http://www.sinto.com.br/pt/granalha/corte_granito.htm)>. Acesso em: 17 mai. 2009.

SOUZA, J. N.; RODRIGUES, J. K. G.; SOUZA NETO, P. N. Utilização do resíduo proveniente da serragem de rochas graníticas como material de enchimento em concretos asfálticos usinados a quente. 2006 Disponível em: <<http://www.ambientebrasil.com.br/>>. Acesso em: 01 nov. 2009.

SOUZA, V. C. M.; RIPPER, T. *Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto*. Ed. PINI, São Paulo, 1998.

SOUZA COUTINHO, J. *Agregados para argamassas e betons*. ed. LNEC, Lisboa, 1999.

SPÍNOLA, V.; GUERREIRO, L. F.; BAZAN, R. A Indústria de Rochas Ornamentais. Desenharia – Agência de Fomento do Estado da Bahia, Estudo de Mercado 02/04, Salvador, set. 2004.

TELLUS, G. Betão: agregados. 2009. Disponível em: <<http://www.bio-architettura.org/pt/articoli/128-calcestruzzo-gli-aggregati.html>>. Acesso em: 10 mai. 2011.

TIECHER, F. *Reação álcali-agregado: avaliação do comportamento de agregados do sul do Brasil quando se altera o cimento utilizado*. 2006. 180 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

VALDUGA, L. *Reação álcali-agregado – mapeamento de agregados reativos do estado de São Paulo*. 2002. 120f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

VIEIRA, C. M. F.; SOARES, T. M.; MONTEIRO, S. N.; PEITER, C. C.; DUAİLÍBI, J. Efeito da adição de resíduo do corte de granito de Santo Antônio de Pádua-RJ em massa cerâmica vermelha. *In: 47º Congresso Brasileiro de Cerâmica. Proceedings...* João Pessoa, 15-18/junho, 2003, p.1109-1123.

VILASCHI, A. F.; SABADINI, M. S. Arranjos produtivos de rochas ornamentais (mármore e granitos) no estado do Espírito Santo. 2000 Disponível em: <[http://www.finep.gov.br/estudos/arquivos/arranjos/arranjos15\\_ee\\_marmore\\_es.pdf](http://www.finep.gov.br/estudos/arquivos/arranjos/arranjos15_ee_marmore_es.pdf)> Acesso em : 01 mar. 2007.

WIKIPÉDIA. Granitos. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Granito>>. Acesso em: 17 abr. 2009.

\_\_\_\_\_. Quartzo. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Quartzo>>. Acesso em: 18 abr. 2009.

\_\_\_\_\_. Feldspato. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Feldspato>>. Acesso em: 18 abr. 2009.

\_\_\_\_\_. Mica. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Mica>>. Acesso em: 21 abr. 2009.

WILD, B. Eco 92, um histórico. 2008. Disponível em: <<http://recantodasletras.uol.com.br/trabalhos escolares/910430>>. Acesso em: 03 abr. 2009.

WWF-Brasil. Relatório mostra que crédito ambiental do planeta se esgotará em 2030. 2008. Disponível em: <[http://www.wwf.org.br/informacoes/noticias\\_meio\\_ambiente\\_e\\_natureza/?16180](http://www.wwf.org.br/informacoes/noticias_meio_ambiente_e_natureza/?16180)>. Acesso em: 07 abr. 2009.

XAVIER, G. C.; SABOYA JÚNIOR, F.; ALEXANDRE, J. Otimização por planejamento fatorial  $3^2$  dos ensaios físico-mecânicos das misturas de resíduo de granito na massa cerâmica vermelha moldados por prensagem. *In: 47º Congresso Brasileiro de Cerâmica. Proceedings...* João Pessoa, 15-18/junho, 2003, p.180-187.

YAMAMOTO, J. T. Environmental impact reduction on the production of blended Portland cement in Brazil., *Environmental Geosciences*, 1997, v. 4, n. 4, p.192-20.

## 9 BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. *NBR 6023* – Informação e documentação – Referências - Elaboração, Rio de Janeiro, 2002.

\_\_\_\_\_. *NBR 7389* – Apreciação petrográfica de materiais naturais, para utilização como agregado para concreto, Rio de Janeiro, 1992.

\_\_\_\_\_. *NBR 9833* – Concreto fresco – Determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico, Rio de Janeiro, 2008.

\_\_\_\_\_. *NBR 10520* – Informação e documentação – Citações em documentos - Apresentação, Rio de Janeiro, 2002.

\_\_\_\_\_. *NBR 13528* – Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Determinação da resistência de aderência à tração, Rio de Janeiro, 1995.

\_\_\_\_\_. *NBR 14724* – Informação e documentação – Trabalhos acadêmicos - Apresentação, Rio de Janeiro, 2011.

\_\_\_\_\_. *NBR 15577-3* – Agregados – Reatividade álcali-agregado – Parte 3: Análise petrográfica para verificação da potencialidade reativa de agregados em presença de álcalis do concreto, Rio de Janeiro, 2008.

\_\_\_\_\_. *NBR 15577-5* – Agregados – Reatividade álcali-agregado – Parte 5: Determinação da mitigação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado, Rio de Janeiro, 2008.

\_\_\_\_\_. *NBR 15577-6* – Agregados – Reatividade álcali-agregado – Parte 6: Determinação da expansão em prismas de concreto, Rio de Janeiro, 2008.

CUENCA, A. M. B.; ANDRADE, M. T. D.; NORONHA, D. P.; FERRAZ, M. L. E. F. Guia de apresentação de teses. 2. ed. Universidade de São Paulo. Faculdade de Saúde Pública. 2008. Disponível em: <http://www.bvs-sp.fsp.usp.br:8080/html/pt/paginas/guia/home.htm>. Acesso em 06.03.11.

HOUAISS, A.; VILLAR, M. S.; FRANCO, F. M. M. (Coord.). Dicionário Enciclopédico Ilustrado: Veja Larousse. 1. ed. São Paulo: Abril. 2006. 24 v.

PIETZSCHKE, F.; WIMMER, F. The New Michaelis: Illustrated Dictionary. 32. ed. São Paulo: Melhoramentos. v. 1.

SEMINÁRIO discute meio ambiente e o setor de rochas. Rochas de Qualidade. São Paulo. p. 112. jul/ago 2006.


SOUZA, C. E. R. Requisitos legais para a obtenção de financiamento nas atividades de mineração e a questão do desenvolvimento sustentável. Rochas de Qualidade. p. 226. jan/fev 2005.

TUFANO, D. Guia Prático da Nova Ortografia: Saiba o que mudou na ortografia brasileira. 1. ed. São Paulo: Melhoramentos. 2008.


VILAÇA, M. L. C. Bibliografia e referências bibliográficas. 2010. Disponível em: <http://ensinoatual.com/blog/?p=600>. Acesso em 06.03.11.

## **ANEXOS**

## ANEXO A – CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

		RELATÓRIO SEMANAL DE ENSAIOS DE CIMENTO					
		FÁBRICA BARROSO - ENSACADEIRA FÁBRICA					
		TIPO / CLASSE : CP - II E 32					
	PERÍODO	01.09.2009 19.09.2009	22.09.2009 08.10.2009	13.10.2009 29.10.2009	03.11.2009 19.11.2009	OBS :	
	MÉDIA						
# 200 %	DP						
	n						
	MÉDIA	13,5	11,2	13,1	12,1		
# 325 %	DP	2,57	3,14	2,24	1,88		
	n	8	8	8	8		
	MÉDIA	4007	4180	3962	3826		
Blaine m2/kg	DP	93	108	142	126		
	n	8	8	8	7		
	MÉDIA	182	160	186	179		
Início Pega min	DP	12	18	23	11		
	n	8	8	8	8		
	MÉDIA						
Expan - mm	DP						
	n						
	MÉDIA	10,7	11,2	8,2	8,5		
R 1dia MPa	DP	1,02	0,79	1,58	0,52		
	n	8	8	8	8		
	MÉDIA	23,2	22,2	20,0	20,0		
R 3 dias Mpa	DP	0,55	0,65	1,22	1,66		
	n	8	7	8	8		
	MÉDIA	30,2	28,8	28,1	28,1		
R 7 dias MPa	DP	1,02	1,02	1,08	2,22		
	n	8	8	8	5		
	MÉDIA	38,9	38,2	37,4			
R 28 dias MPa	DP	1,84	1,22	0,94			
	n	8	8	5			
	MÉDIA	248	219	248	243		
Fim pega min	DP	14	24	25	16,02		
	n	8	8	8	8		
	P.F.	5,33	5,55	5,39	4,49		
	SiO2	24,24	24,05	24,39	24,61		
	R.I.	2,24	2,34	2,40	1,90		
	Al2O3	7,29	7,21	7,30	7,50		
	Fe2O3	2,21	2,20	2,09	2,09		
Análise Química	CaO	55,85	55,79	55,23	55,07		
	MgO	3,27	3,19	3,24	3,34		
	SO3	1,58	1,61	1,46	1,54		
	CO2	4,75	4,75	4,87	4,32		
	K2O	0,59	0,61	0,62	0,60		
	P.F. 500°C	0,39	0,53	0,41	0,27		
	C3A teórico						



 <p>INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA SUDESTE DE MINAS GERAIS Campus Juiz de Fora</p>	REF.:
	DOUTORADO
	FL.: 01/01

### ANÁLISE DE AGREGADO MIÚDO

#### DADOS DO CONTRATANTE

NOME: Sérgio Kitamura

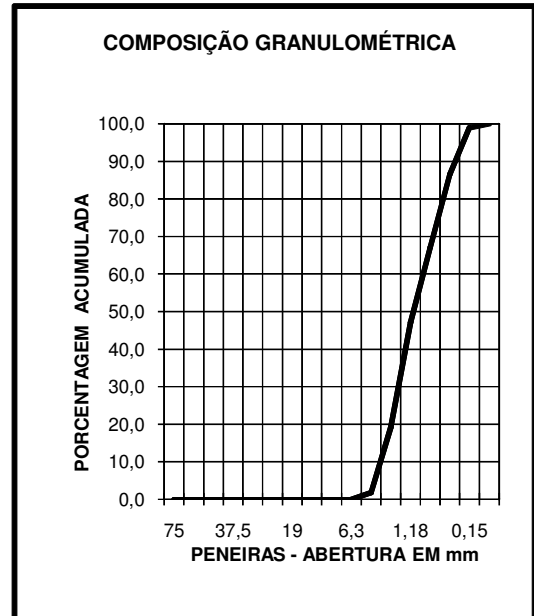
ENDEREÇO: Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Juiz de Fora - MG

#### DADOS DO MATERIAL

AMOSTRA: Areia natural (AMN) LOCAL DE COLETA: Rio do Peixe - Valadares - MG

PROCEDÊNCIA: Rio do Peixe - Valadares - MG


COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA - NBR NM 248							
Peneiras		Peso retido (g)		% Retida			%
pol.	mm	m <sub>1</sub>	m <sub>2</sub>	m <sub>1</sub>	m <sub>2</sub>	média	Acum.
3	75			0,00	0,00	0,00	0,00
2 1/2	63			0,00	0,00	0,00	0,00
2	50			0,00	0,00	0,00	0,00
1 1/2	37,5			0,00	0,00	0,00	0,00
2	31,5			0,00	0,00	0,00	0,00
1	25			0,00	0,00	0,00	0,00
3/4	19			0,00	0,00	0,00	0,00
1/2	12,5			0,00	0,00	0,00	0,00
3/8	9,5			0,00	0,00	0,00	0,00
1/4	6,3			0,00	0,00	0,00	0,00
nº 4	4,75	17,83	18,01	1,78	1,80	1,79	1,79
nº 8	2,36	170,73	176,56	17,07	17,66	17,36	19,16
nº 16	1,18	276,80	282,87	27,68	28,29	27,98	47,14
nº 30	0,6	203,15	196,02	20,32	19,60	19,96	67,10
nº 50	0,3	198,06	191,14	19,81	19,11	19,46	86,56
nº 100	0,15	122,93	124,58	12,29	12,46	12,38	98,93
Fundo	0,00	10,50	10,82	1,05	1,08	1,07	100,00
Totais		1000,00	1000,00	100,00	100,00	100,00	100,00



Classificação Granulométrica NBR 7211:	Zona utilizável	OBSERVAÇÃO:
Massa Específica Real NBR NM 52 (kg/dm <sup>3</sup> ):	2,62	
Massa Específica Aparente Seca NBR NM 52 (kg/dm <sup>3</sup> ):	1,50	
Módulo de Finura NBR 7211:	3,21	
Torrões de Argila NBR 7218 (%):	ISENTO	
Material Pulverulento NBR NM 46 (%):	0,78	
Impureza Orgânica NBR NM 49 (p.p.m.):	<300	
Dimensão Máxima Característica NBR 7211 (mm):	4,75	
Absorção de água NBR NM 30 (%):	1,95	

RESPONSÁVEL:	DATA: 24/08/2009
Sérgio Kitamura	



 <p>INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA SUDESTE DE MINAS GERAIS Campus Juiz de Fora</p>	<b>REF.:</b> DOUTORADO
	<b>FL.:</b> 01/01

**ANÁLISE DE AGREGADO MIÚDO****DADOS DO CONTRATANTE**

NOME: Sérgio Kitamura

ENDEREÇO: Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Juiz de Fora - MG

**DADOS DO MATERIAL**

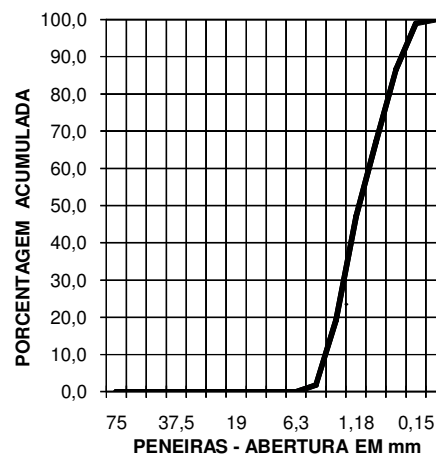
AMOSTRA: Granito triturado - Cinza Bressan

LOCAL DE COLETA: IFET - JF

PROCEDÊNCIA DA ROCHA: Estado do Espírito Santo

**COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA - NBR NM 248**

Peneiras		Peso retido (g)		% Retida			%
pol.	mm	m <sub>1</sub>	m <sub>2</sub>	m <sub>1</sub>	m <sub>2</sub>	média	Acum.
3	75			0,00	0,00	0,00	0,00
2 1/2	63			0,00	0,00	0,00	0,00
2	50			0,00	0,00	0,00	0,00
1 1/2	37,5			0,00	0,00	0,00	0,00
2	31,5			0,00	0,00	0,00	0,00
1	25			0,00	0,00	0,00	0,00
3/4	19			0,00	0,00	0,00	0,00
1/2	12,5			0,00	0,00	0,00	0,00
3/8	9,5			0,00	0,00	0,00	0,00
1/4	6,3			0,00	0,00	0,00	0,00
nº 4	4,75	17,83	18,01	1,78	1,80	1,79	1,79
nº 8	2,36	170,73	176,56	17,07	17,66	17,36	19,16
nº 16	1,18	276,80	282,87	27,68	28,29	27,98	47,14
nº 30	0,6	203,15	196,02	20,32	19,60	19,96	67,10
nº 50	0,3	198,06	191,14	19,81	19,11	19,46	86,56
nº 100	0,15	122,93	124,58	12,29	12,46	12,38	98,93
Fundo	0,00	10,50	10,82	1,05	1,08	1,07	100,00
Totais		1000,00	1000,00	100,00	100,00	100,00	100,00

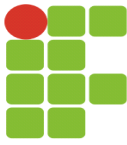
**COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA**

Classificação Granulométrica NBR 7211:	Zona utilizável	OBSERVAÇÃO: composição granulométrica idêntica à da areia natural (NA).
Massa Específica NBR NM 52 (kg/dm <sup>3</sup> ):	2,70	
Massa Específica Aparente NBR NM 52 (kg/dm <sup>3</sup> ):	1,57	
Módulo de Finura NBR 7211:	3,21	
Torrões de Argila NBR 7218 (%):	ISENTO	
Material Pulverulento NBR NM 46 (%):	3,69	
Impureza Orgânica NBR NM 49 (p.p.m.):	<300	
Dimensão Máxima Característica NBR 7211 (mm):	4,75	
Absorção de água NBR NM 30 (%):	0,95	

RESPONSÁVEL:

Sérgio Kitamura

DATA: 26/08/2009

 <p>INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA SUDESTE DE MINAS GERAIS Campus Juiz de Fora</p>	REF.:
	DOUTORADO
	FL.: 01/01

### ANÁLISE DE AGREGADO MIÚDO

#### DADOS DO CONTRATANTE

NOME: Sérgio Kitamura

ENDEREÇO: Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Juiz de Fora - MG

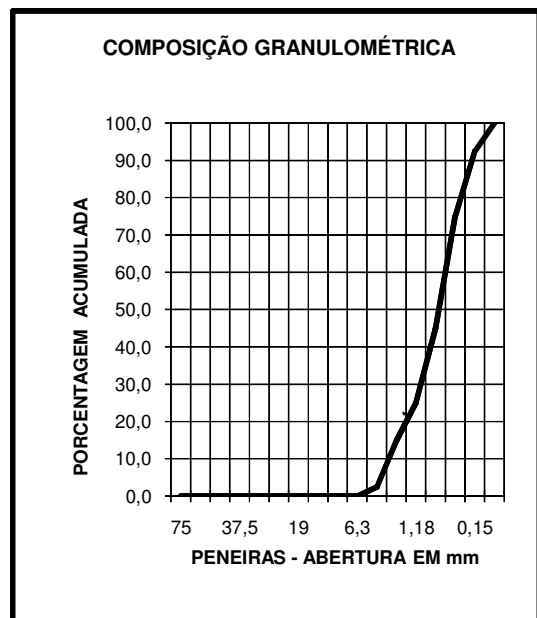
#### DADOS DO MATERIAL

AMOSTRA: Granito triturado - Cinza Bressan

LOCAL DE COLETA: IFET - JF

PROCEDÊNCIA DA ROCHA: Estado do Espírito Santo

COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA - NBR NM 248							
Peneiras		Peso retido (g)		% Retida			%
pol.	mm	m <sub>1</sub>	m <sub>2</sub>	m <sub>1</sub>	m <sub>2</sub>	média	Acum.
3	75			0,00	0,00	0,00	0,00
2 1/2	63			0,00	0,00	0,00	0,00
2	50			0,00	0,00	0,00	0,00
1 1/2	37,5			0,00	0,00	0,00	0,00
2	31,5			0,00	0,00	0,00	0,00
1	25			0,00	0,00	0,00	0,00
3/4	19			0,00	0,00	0,00	0,00
1/2	12,5			0,00	0,00	0,00	0,00
3/8	9,5			0,00	0,00	0,00	0,00
1/4	6,3			0,00	0,00	0,00	0,00
n° 4	4,75	25,00	25,00	2,50	2,50	2,50	2,50
n° 8	2,36	125,00	125,00	12,50	12,50	12,50	15,00
n° 16	1,18	100,00	100,00	10,00	10,00	10,00	25,00
n° 30	0,6	200,00	200,00	20,00	20,00	20,00	45,00
n° 50	0,3	300,00	300,00	30,00	30,00	30,00	75,00
n° 100	0,15	175,00	175,00	17,50	17,50	17,50	92,50
Fundo	0,00	75,00	75,00	7,50	7,50	7,50	100,00
Totais		1000,00	1000,00	100,00	100,00	100,00	100,00



Classificação Granulométrica NBR 7211:	Zona ótima	OBSERVAÇÃO: composição granulométrica ótima (GO).
Massa Específica NBR NM 52 (kg/dm <sup>3</sup> ):	2,70	
Massa Específica Aparente NBR NM 52 (kg/dm <sup>3</sup> ):	1,59	
Módulo de Finura NBR 7211:	2,55	
Torrões de Argila NBR 7218 (%):	ISENTO	
Material Pulverulento NBR NM 46 (%):	3,20	
Impureza Orgânica NBR NM 49 (p.p.m.):	<300	
Dimensão Máxima Característica NBR 7211 (mm):	4,75	
Coefficiente de vazios (%):	***	

RESPONSÁVEL:	DATA: 06/12/2010
Sérgio Kitamura	

 <p><b>INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA</b> SUDESTE DE MINAS GERAIS Campus Juiz de Fora</p>	<b>REF.:</b> DOUTORADO
	<b>FL.:</b> 01/01

## ANÁLISE DE AGREGADO MIÚDO

### DADOS DO CONTRATANTE

**NOME:** Sérgio Kitamura

**ENDEREÇO:** Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Juiz de Fora - MG

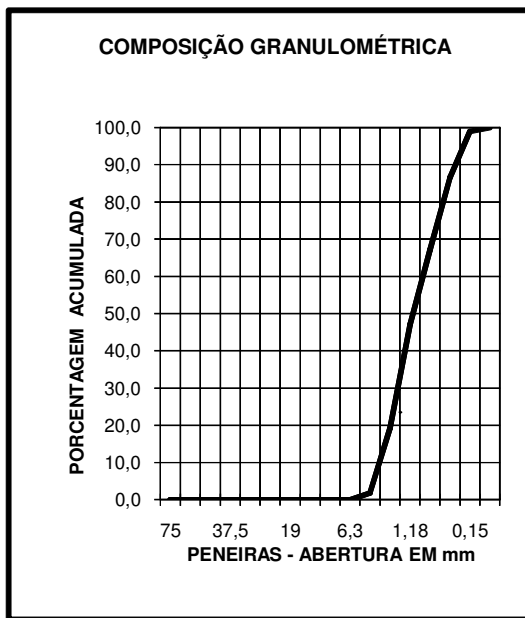
### DADOS DO MATERIAL

**AMOSTRA:** Granito triturado - Verde Labrador

**LOCAL DE COLETA:** IFET - JF

**PROCEDÊNCIA DA ROCHA:** Estado do Espírito Santo

COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA - NBR NM 248							
Peneiras		Peso retido (g)		% Retida			%
pol.	mm	m <sub>1</sub>	m <sub>2</sub>	m <sub>1</sub>	m <sub>2</sub>	média	Acum.
3	75			0,00	0,00	0,00	0,00
2 1/2	63			0,00	0,00	0,00	0,00
2	50			0,00	0,00	0,00	0,00
1 1/2	37,5			0,00	0,00	0,00	0,00
2	31,5			0,00	0,00	0,00	0,00
1	25			0,00	0,00	0,00	0,00
3/4	19			0,00	0,00	0,00	0,00
1/2	12,5			0,00	0,00	0,00	0,00
3/8	9,5			0,00	0,00	0,00	0,00
1/4	6,3			0,00	0,00	0,00	0,00
nº 4	4,75	17,83	18,01	1,78	1,80	1,79	1,79
nº 8	2,36	170,73	176,56	17,07	17,66	17,36	19,16
nº 16	1,18	276,80	282,87	27,68	28,29	27,98	47,14
nº 30	0,6	203,15	196,02	20,32	19,60	19,96	67,10
nº 50	0,3	198,06	191,14	19,81	19,11	19,46	86,56
nº 100	0,15	122,93	124,58	12,29	12,46	12,38	98,93
Fundo	0,00	10,50	10,82	1,05	1,08	1,07	100,00
Totais		1000,00	1000,00	100,00	100,00	100,00	100,00




Classificação Granulométrica NBR 7211:	Zona utilizável	<b>OBSERVAÇÃO:</b> composição granulométrica idêntica à da areia natural (NA).
Massa Específica NBR NM 52 (kg/dm <sup>3</sup> ):	2,69	
Massa Específica Aparente NBR NM 52 (kg/dm <sup>3</sup> ):	1,51	
Módulo de Finura NBR 7211:	3,21	
Torrões de Argila NBR 7218 (%):	ISENTO	
Material Pulverulento NBR NM 46 (%):	4,16	
Impureza Orgânica NBR NM 49 (p.p.m.):	<300	
Dimensão Máxima Característica NBR 7211 (mm):	4,75	
Absorção de água NBR NM 30 (%):	0,80	

**RESPONSÁVEL:**

Sérgio Kitamura

**DATA:** 25/09/2009

 <b>INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA</b> SUDESTE DE MINAS GERAIS Campus Juiz de Fora	REF.:
	DOUTORADO
FL.: 01/01	

**ANÁLISE DE AGREGADO MIÚDO****DADOS DO CONTRATANTE**

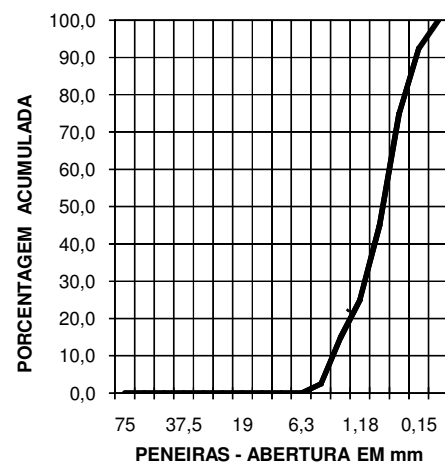
NOME: Sérgio Kitamura  
ENDEREÇO: Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Juiz de Fora - MG

**DADOS DO MATERIAL**

AMOSTRA: Granito triturado - Verde Labrador LOCAL DE COLETA: IFET - JF  
PROCEDÊNCIA DA ROCHA: Estado do Espírito Santo


**COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA - NBR NM 248**

Peneiras	mm	Peso retido (g)		% Retida			% Acum.
		m <sub>1</sub>	m <sub>2</sub>	m <sub>1</sub>	m <sub>2</sub>	média	
3	75			0,00	0,00	0,00	0,00
2 1/2	63			0,00	0,00	0,00	0,00
2	50			0,00	0,00	0,00	0,00
1 1/2	37,5			0,00	0,00	0,00	0,00
2	31,5			0,00	0,00	0,00	0,00
1	25			0,00	0,00	0,00	0,00
3/4	19			0,00	0,00	0,00	0,00
1/2	12,5			0,00	0,00	0,00	0,00
3/8	9,5			0,00	0,00	0,00	0,00
1/4	6,3			0,00	0,00	0,00	0,00
nº 4	4,75	25,00	25,00	2,50	2,50	2,50	2,50
nº 8	2,36	125,00	125,00	12,50	12,50	12,50	15,00
nº 16	1,18	100,00	100,00	10,00	10,00	10,00	25,00
nº 30	0,6	200,00	200,00	20,00	20,00	20,00	45,00
nº 50	0,3	300,00	300,00	30,00	30,00	30,00	75,00
nº 100	0,15	175,00	175,00	17,50	17,50	17,50	92,50
Fundo	0,00	75,00	75,00	7,50	7,50	7,50	100,00
Totais		1000,00	1000,00	100,00	100,00	100,00	100,00

**COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA**

Classificação Granulométrica NBR 7211:	Zona ótima	OBSERVAÇÃO: composição granulométrica ótima (GO).
Massa Específica NBR NM 52 (kg/dm <sup>3</sup> ):	2,69	
Massa Específica Aparente NBR NM 52 (kg/dm <sup>3</sup> ):	1,55	
Módulo de Finura NBR 7211:	2,55	
Torrões de Argila NBR 7218 (%):	ISENTO	
Material Pulverulento NBR NM 46 (%):	3,88	
Impureza Orgânica NBR NM 49 (p.p.m.):	<300	
Dimensão Máxima Característica NBR 7211 (mm):	4,75	
Coeficiente de vazios (%):	***	

RESPONSÁVEL:	DATA: 28/11/2010
Sérgio Kitamura	

 <p><b>INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA SUDESTE DE MINAS GERAIS</b> Campus Juiz de Fora</p>	<b>REF.:</b> DOUTORADO
	<b>FL.: 01/01</b>

**ANÁLISE DE AGREGADO MIÚDO****DADOS DO CONTRATANTE**

NOME: Sérgio Kitamura

ENDEREÇO: Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Juiz de Fora - MG

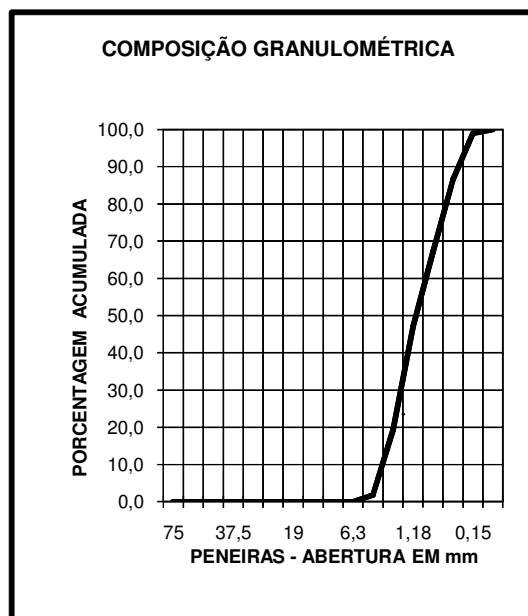
**DADOS DO MATERIAL**

AMOSTRA: Granito triturado - Marrom Graphite

LOCAL DE COLETA: IFET - JF

PROCEDÊNCIA DA ROCHA: Estado do Espírito Santo

COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA - NBR NM 248							
Peneiras		Peso retido (g)		% Retida			%
pol.	mm	m <sub>1</sub>	m <sub>2</sub>	m <sub>1</sub>	m <sub>2</sub>	média	Acum.
3	75			0,00	0,00	0,00	0,00
2 1/2	63			0,00	0,00	0,00	0,00
2	50			0,00	0,00	0,00	0,00
1 1/2	37,5			0,00	0,00	0,00	0,00
2	31,5			0,00	0,00	0,00	0,00
1	25			0,00	0,00	0,00	0,00
3/4	19			0,00	0,00	0,00	0,00
1/2	12,5			0,00	0,00	0,00	0,00
3/8	9,5			0,00	0,00	0,00	0,00
1/4	6,3			0,00	0,00	0,00	0,00
nº 4	4,75	17,83	18,01	1,78	1,80	1,79	1,79
nº 8	2,36	170,73	176,56	17,07	17,66	17,36	19,16
nº 16	1,18	276,80	282,87	27,68	28,29	27,98	47,14
nº 30	0,6	203,15	196,02	20,32	19,60	19,96	67,10
nº 50	0,3	198,06	191,14	19,81	19,11	19,46	86,56
nº 100	0,15	122,93	124,58	12,29	12,46	12,38	98,93
Fundo	0,00	10,50	10,82	1,05	1,08	1,07	100,00
Totais		1000,00	1000,00	100,00	100,00	100,00	100,00



Classificação Granulométrica NBR 7211:	Zona utilizável	<b>OBSERVAÇÃO:</b> composição granulométrica idêntica à da areia natural (NA).
Massa Específica NBR NM 52 (kg/dm <sup>3</sup> ):	2,72	
Massa Específica Aparente NBR NM 52 (kg/dm <sup>3</sup> ):	1,61	
Módulo de Finura NBR 7211:	3,21	
Torrões de Argila NBR 7218 (%):	ISENTO	
Material Pulverulento NBR NM 46 (%):	3,16	
Impureza Orgânica NBR NM 49 (p.p.m.):	<300	
Dimensão Máxima Característica NBR 7211 (mm):	4,75	
Absorção de água NBR NM 30 (%):	1,63	

RESPONSÁVEL:  Sérgio Kitamura	DATA: 23/10/2009
-------------------------------------	------------------

 <p><b>INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA</b> SUDESTE DE MINAS GERAIS Campus Juiz de Fora</p>	<b>REF.:</b>  DOUTORADO
	<b>FL.:</b> 01/01

**ANÁLISE DE AGREGADO MIÚDO****DADOS DO CONTRATANTE**

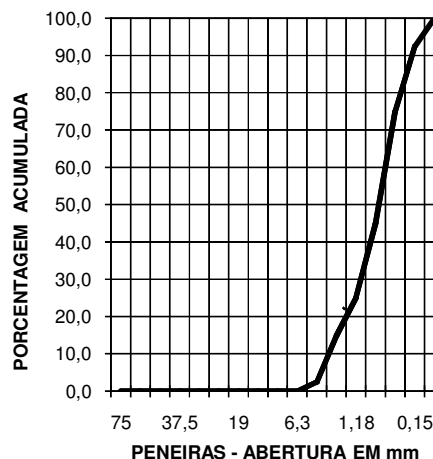
NOME: Sérgio Kitamura  
 ENDEREÇO: Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Juiz de Fora - MG

**DADOS DO MATERIAL**

AMOSTRA: Granito triturado - Marrom Graphite LOCAL DE COLETA: IFET - JF  
 PROCEDÊNCIA DA ROCHA: Estado do Espírito Santo

**COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA - NBR NM 248**

Peneiras		Peso retido (g)		% Retida			%
pol.	mm	m <sub>1</sub>	m <sub>2</sub>	m <sub>1</sub>	m <sub>2</sub>	média	Acum.
3	75			0,00	0,00	0,00	0,00
2 1/2	63			0,00	0,00	0,00	0,00
2	50			0,00	0,00	0,00	0,00
1 1/2	37,5			0,00	0,00	0,00	0,00
2	31,5			0,00	0,00	0,00	0,00
1	25			0,00	0,00	0,00	0,00
3/4	19			0,00	0,00	0,00	0,00
1/2	12,5			0,00	0,00	0,00	0,00
3/8	9,5			0,00	0,00	0,00	0,00
1/4	6,3			0,00	0,00	0,00	0,00
nº 4	4,75	25,00	25,00	2,50	2,50	2,50	2,50
nº 8	2,36	125,00	125,00	12,50	12,50	12,50	15,00
nº 16	1,18	100,00	100,00	10,00	10,00	10,00	25,00
nº 30	0,6	200,00	200,00	20,00	20,00	20,00	45,00
nº 50	0,3	300,00	300,00	30,00	30,00	30,00	75,00
nº 100	0,15	175,00	175,00	17,50	17,50	17,50	92,50
Fundo	0,00	75,00	75,00	7,50	7,50	7,50	100,00
Totais		1000,00	1000,00	100,00	100,00	100,00	100,00

**COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA**

Classificação Granulométrica NBR 7211:	Zona ótima	OBSERVAÇÃO: composição granulométrica ótima (GO).
Massa Específica NBR NM 52 (kg/dm <sup>3</sup> ):	2,72	
Massa Específica Aparente NBR NM 52 (kg/dm <sup>3</sup> ):	1,63	
Módulo de Finura NBR 7211:	2,55	
Torrões de Argila NBR 7218 (%):	ISENTO	
Material Pulverulento NBR NM 46 (%):	2,67	
Impureza Orgânica NBR NM 49 (p.p.m.):	<300	
Dimensão Máxima Característica NBR 7211 (mm):	4,75	
Coefficiente de vazios (%):	***	

RESPONSÁVEL:	DATA: 14/12/2010
_____	
Sérgio Kitamura	

 <p>INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA SUDESTE DE MINAS GERAIS Campus Juiz de Fora</p>	REF.: DOUTORADO
	FL.: 01/01

### ANÁLISE DE AGREGADO GRAUADO

#### DADOS DO CONTRATANTE

NOME: Sérgio Kitamura  
ENDEREÇO: Instituto Federal de Juiz de Fora - MG

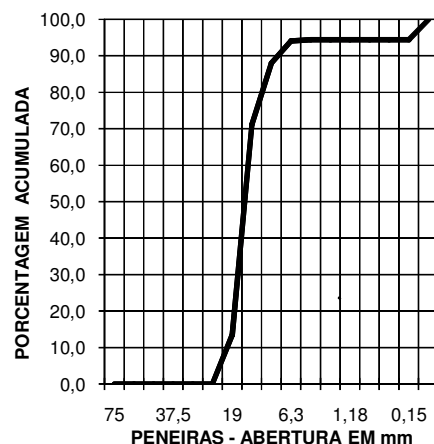
#### DADOS DO MATERIAL

AMOSTRA: Brita  
PROCED: Pedreira Santo Cristo - Juiz de Fora - MG      FORNECEDOR: Pedreira Santo Cristo

#### COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA - NBR NM 248

Peneiras	Peso retido (g)		% Retida			% Acum.
	pol.	mm	m <sub>1</sub>	m <sub>2</sub>	média	
3	75				0,00	0,00
2 1/2	63				0,00	0,00
2	50				0,00	0,00
1 1/2	37,5				0,00	0,00
2	31,5				0,00	0,00
1	25				0,00	0,00
3/4	19	1362,00	1310,00	13,62	13,10	13,36
1/2	12,5	5734,00	5820,20	57,34	58,20	57,77
3/8	9,5	1676,40	1684,00	16,76	16,84	16,80
1/4	6,3	621,00	601,80	6,21	6,02	6,11
nº 4	4,75	34,00	32,80	0,34	0,33	0,33
nº 8	2,36			0,00	0,00	0,00
nº 16	1,18			0,00	0,00	0,00
nº 30	0,6			0,00	0,00	0,00
nº 50	0,3			0,00	0,00	0,00
nº 100	0,15			0,00	0,00	0,00
Fundo	0,00	572,60	551,20	5,73	5,51	5,62
Totais		10000,00	10000,00	100,00	100,00	100,00

#### COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA



Zona Granulométrica - NBR 7211:	Fora de graduação	OBSERVAÇÃO:
Massa Específica Real - NBR NM 53 (kg/dm <sup>3</sup> ):	2,67	
Massa Específica Aparente Seca - NBR NM 53 (kg/dm <sup>3</sup> ):	1,45	
Módulo de Finura - NBR 7211:	6,68	
Torrões de Argila - NBR 7218 (%):	ISENTO	
Material Pulverulento - NBR NM 46 (%):	1,00	
Abrasão "Los Angeles" - NBR NM 51	50,00	
Dimensão Máxima Característica - NBR 7211 (mm):	25,00	
Coefficiente de vazios (%):	***	

RESPONSÁVEL:  Sérgio Kitamura	DATA: 20/08/2009
-------------------------------------	------------------

## ANEXO B – RESULTADOS DOS ENSAIOS.

<b>Mistura de referência (OGNA)</b>									
Ensaio	Idade do CP (dias)	Resultados individuais						Resultado Médio	Coeficiente de variação (%)
		CP 01	CP 02	CP 03	CP 04	CP 05	CP 06		
Resistência à compressão axial (MPa)	3	13,27	13,39	15,05	13,87	14,01	13,75	13,89	4,57
	7	19,93	21,20	20,47	20,74	20,05	21,06	20,58	2,53
	28	27,37	26,56	25,40	27,23	25,24	26,99	26,47	3,52
	90	28,30	27,37	26,67	27,87	28,55	26,99	27,63	2,68
	120	27,69	28,30	28,43	27,77	28,11	27,97	28,05	1,04
Resistência à tração por compressão diametral (MPa)	3	1,91	1,86	2,02	1,88	1,92	1,90	1,91	2,90
	7	2,28	2,30	2,47	2,49	2,36	2,35	2,37	3,68
	28	3,01	3,04	2,82	2,83	3,03	2,91	2,94	3,42
	90	3,04	3,24	3,11	3,15	3,13	3,11	3,13	2,14
	120	3,18	3,26	3,19	3,31	3,14	3,06	3,19	2,76
Resistência à tração na flexão (MPa)	28	3,68	3,48	3,70	-	-	-	3,62	3,36
Módulo de elasticidade (GPa)	28	30,55	31,65	30,92	-	-	-	31,04	1,80
Coeficiente de Poisson	28	0,195	0,195	0,180	-	-	-	0,190	4,56
Absorção de água por imersão (%)	28	7,35	7,15	7,15	-	-	-	7,22	1,60
Índice de vazios (%)	28	15,97	16,02	15,42	-	-	-	15,80	2,11
Absorção de água por capilaridade (g/cm <sup>2</sup> )	28	Tempo em contato com a água			CP 01	CP 02	CP 03		
		3 horas			0,518	0,535	0,515	0,52	2,06
		6 horas			0,622	0,639	0,618	0,63	1,78
		24 horas			1,089	1,120	1,085	1,10	1,74
		48 horas			1,385	1,422	1,410	1,41	1,34
		72 horas			1,595	1,620	1,615	1,61	0,82
Massa específica am. seca (kg/m <sup>3</sup> )	28	2315	2295	2322	2268	-	-	2300	1,05
Retração hidráulica (%)	3	0,0039	0,0042	0,0039	0,0041	-	-	0,004	3,73
	7	0,0166	0,0172	0,0162	0,0158	-	-	0,016	3,63
	28	0,0276	0,0302	0,0294	0,0302	-	-	0,029	4,18
	56	0,0438	0,0417	0,0410	0,0420	-	-	0,042	2,83
	90	0,0439	0,0418	0,0410	0,0420	-	-	0,042	2,91
	180	0,0440	0,0418	0,0411	0,0420	-	-	0,042	2,95



Mistura contendo 25% de AMRG1T com composição granulométrica NA (25G1NA)									
Ensaio	Idade do CP (dias)	Resultados individuais						Resultado Médio	Coeficiente de variação (%)
		CP 01	CP 02	CP 03	CP 04	CP 05	CP 06		
Resistência à compressão axial (MPa)	3	15,95	16,63	15,94	14,68	15,61	15,34	15,69	4,19
	7	20,97	21,67	20,84	20,97	21,49	21,17	21,19	1,55
	28	27,82	28,80	26,23	27,85	26,71	27,78	27,53	3,34
	90	27,55	28,86	29,32	30,39	28,09	28,19	28,73	3,56
	120	29,41	29,26	28,53	28,97	29,87	29,83	29,31	1,75
Resistência à tração por compressão diametral (MPa)	3	1,96	1,92	1,97	1,91	1,90	2,01	1,94	2,12
	7	2,40	2,45	2,32	2,49	2,54	2,45	2,44	3,08
	28	2,99	3,03	2,97	3,07	2,95	3,04	3,01	1,52
	90	3,29	3,16	3,15	3,18	3,14	3,23	3,19	1,83
	120	3,21	3,16	3,26	3,32	3,11	3,42	3,25	3,48
Resistência à tração na flexão (MPa)	28	3,65	3,80	3,80	-	-	-	3,75	2,31
Módulo de elasticidade (GPa)	28	32,93	34,42	33,22	-	-	-	33,52	2,36
Coeficiente de Poisson	28	0,205	0,197	0,198	-	-	-	0,200	2,18
Absorção de água por imersão (%)	28	7,22	6,95	7,05	-	-	-	7,07	1,93
Índice de vazios (%)	28	16,04	15,86	14,93	-	-	-	15,61	3,82
Absorção de água por capilaridade (g/cm <sup>2</sup> )	28	Tempo em contato com a água			CP 01	CP 02	CP 03		
		3 horas			0,348	0,373	0,365	0,36	3,53
		6 horas			0,465	0,492	0,485	0,48	2,92
		24 horas			0,862	0,902	0,886	0,88	2,28
		48 horas			1,131	1,195	1,175	1,17	2,81
		72 horas			1,315	1,388	1,365	1,36	2,75
Massa específica am. seca (kg/m <sup>3</sup> )	28	2330	2302	2275	2325	-	-	2308	1,09
Retração hidráulica (%)	3	0,0047	0,0053	0,0048	0,0052	-	-	0,005	5,89
	7	0,0222	0,0238	0,0215	0,0235	-	-	0,023	4,77
	28	0,0403	0,0386	0,0389	0,0397	-	-	0,039	1,96
	56	0,0477	0,0493	0,0510	0,0532	-	-	0,050	4,68
	90	0,0481	0,0494	0,0512	0,0533	-	-	0,051	4,47
	180	0,0481	0,0495	0,0512	0,0534	-	-	0,051	4,52



Mistura contendo 75% de AMRG1T com composição granulométrica NA (75G1NA)									
Ensaio	Idade do CP (dias)	Resultados individuais						Resultado Médio	Coeficiente de variação (%)
		CP 01	CP 02	CP 03	CP 04	CP 05	CP 06		
Resistência à compressão axial (MPa)	3	18,49	19,39	18,17	17,76	18,81	19,05	18,61	3,20
	7	23,49	24,14	23,98	24,42	23,13	22,80	23,66	2,64
	28	30,09	27,93	27,91	30,07	28,07	29,02	28,85	3,59
	90	30,44	30,66	30,72	29,23	29,07	32,24	30,39	3,81
	120	30,53	30,88	31,82	29,16	30,89	31,86	30,85	3,21
Resistência à tração por compressão diametral (MPa)	3	1,98	2,08	2,05	2,14	2,06	2,06	2,06	2,55
	7	2,74	2,73	2,60	2,72	2,78	2,70	2,71	2,18
	28	3,35	3,28	3,32	3,36	3,18	3,44	3,32	2,71
	90	3,49	3,49	3,56	3,57	3,53	3,47	3,52	1,23
	120	3,61	3,46	3,69	3,62	3,50	3,73	3,60	2,97
Resistência à tração na flexão (MPa)	28	3,94	3,73	4,00	-	-	-	3,89	3,64
Módulo de elasticidade (GPa)	28	37,83	35,60	36,92	-	-	-	36,78	3,05
Coeficiente de Poisson	28	0,207	0,212	0,207	-	-	-	0,209	1,38
Absorção de água por imersão (%)	28	6,85	7,08	7,10	-	-	-	7,01	1,98
Índice de vazios (%)	28	15,95	15,11	15,42	-	-	-	15,49	2,74
Absorção de água por capilaridade (g/cm <sup>2</sup> )	28	Tempo em contato com a água			CP 01	CP 02	CP 03		
		3 horas			0,260	0,251	0,245	0,25	3,00
		6 horas			0,354	0,343	0,331	0,34	3,36
		24 horas			0,753	0,748	0,722	0,74	2,25
		48 horas			0,961	0,955	0,931	0,95	1,67
		72 horas			1,092	1,088	1,065	1,08	1,35
Massa específica am. seca (kg/m <sup>3</sup> )	28	2366	2327	2302	2297	-	-	2323	1,36
Retração hidráulica (%)	3	0,0115	0,0108	0,0120	0,0106	-	-	0,011	5,74
	7	0,0286	0,0252	0,0255	0,0287	-	-	0,027	7,07
	28	0,0432	0,0466	0,0442	0,0450	-	-	0,045	3,21
	56	0,0585	0,0592	0,0534	0,0575	-	-	0,057	4,54
	90	0,0595	0,0602	0,0545	0,0589	-	-	0,058	4,41
	180	0,0596	0,0603	0,0545	0,0589	-	-	0,058	4,48





Mistura contendo 25% de AMRG2T com composição granulométrica NA (25G2NA)									
Ensaio	Idade do CP (dias)	Resultados individuais						Resultado Médio	Coeficiente de variação (%)
		CP 01	CP 02	CP 03	CP 04	CP 05	CP 06		
Resistência à compressão axial (MPa)	3	16,46	16,82	16,63	17,69	15,95	16,49	16,67	3,44
	7	23,58	22,35	21,43	22,70	22,77	22,96	22,63	3,16
	28	28,00	27,29	28,34	29,30	28,05	27,34	28,05	2,64
	90	29,95	28,97	28,60	30,32	28,29	27,93	29,01	3,24
	120	28,05	28,84	29,46	29,87	30,51	31,68	29,73	4,28
Resistência à tração por compressão diametral (MPa)	3	2,14	2,05	2,10	2,07	2,00	2,21	2,10	3,55
	7	2,56	2,54	2,65	2,55	2,46	2,60	2,56	2,55
	28	2,94	3,08	3,19	3,12	3,15	3,04	3,09	2,89
	90	3,40	3,18	3,19	3,13	3,27	3,36	3,26	3,35
	120	3,41	3,26	3,40	3,40	3,32	3,14	3,32	3,19
Resistência à tração na flexão (MPa)	28	3,98	3,87	3,62	-	-	-	3,82	4,83
Módulo de elasticidade (GPa)	28	32,38	30,85	30,92	-	-	-	31,38	2,75
Coeficiente de Poisson	28	0,203	0,189	0,190	-	-	-	0,194	4,03
Absorção de água por imersão (%)	28	6,77	7,12	7,09	-	-	-	6,99	2,77
Índice de vazios (%)	28	14,93	15,77	15,62	-	-	-	15,44	2,90
Absorção de água por capilaridade (g/cm <sup>2</sup> )	28	Tempo em contato com a água			CP 01	CP 02	CP 03		
		3 horas			0,305	0,291	0,302	0,30	2,46
		6 horas			0,415	0,403	0,418	0,41	1,93
		24 horas			0,842	0,818	0,842	0,83	1,66
		48 horas			1,178	1,145	1,168	1,16	1,45
		72 horas			1,339	1,304	1,325	1,32	1,33
Massa específica am. seca (kg/m <sup>3</sup> )	28	2251	2325	2322	2306	-	-	2301	1,49
Retração hidráulica (%)	3	0,0055	0,0065	0,0063	0,0058	-	-	0,006	7,59
	7	0,0222	0,0204	0,0215	0,0211	-	-	0,021	3,53
	28	0,0366	0,0405	0,0392	0,0394	-	-	0,039	4,24
	56	0,0530	0,0537	0,0573	0,0574	-	-	0,055	4,20
	90	0,0531	0,0538	0,0574	0,0574	-	-	0,055	4,15
	180	0,0532	0,0538	0,0575	0,0574	-	-	0,055	4,14

Mistura contendo 50% de AMRG2T com composição granulométrica NA (50G2NA)									
Ensaio	Idade do CP (dias)	Resultados individuais						Resultado Médio	Coeficiente de variação (%)
		CP 01	CP 02	CP 03	CP 04	CP 05	CP 06		
Resistência à compressão axial (MPa)	3	17,52	18,19	18,09	16,88	17,29	17,89	17,64	2,87
	7	24,36	23,29	22,17	23,26	24,04	23,67	23,46	3,26
	28	27,50	27,99	29,87	27,92	28,94	29,26	28,58	3,21
	90	30,58	30,49	29,95	28,80	28,86	30,38	29,84	2,73
	120	28,89	30,89	30,34	28,04	31,21	30,72	30,01	4,21
Resistência à tração por compressão diametral (MPa)	3	2,16	2,24	2,29	2,22	2,32	2,22	2,24	2,57
	7	2,80	2,77	2,87	2,64	2,74	2,80	2,77	2,79
	28	3,37	3,26	3,34	3,35	3,46	3,33	3,35	1,91
	90	3,41	3,36	3,57	3,51	3,47	3,49	3,47	2,16
	120	3,53	3,44	3,32	3,54	3,49	3,58	3,48	2,60
Resistência à tração na flexão (MPa)	28	3,85	4,02	3,80	-	-	-	3,89	2,96
Módulo de elasticidade (GPa)	28	31,30	30,88	32,98	-	-	-	31,72	3,50
Coeficiente de Poisson	28	0,188	0,198	0,202	-	-	-	0,196	3,68
Absorção de água por imersão (%)	28	7,32	6,58	6,93	-	-	-	6,94	5,33
Índice de vazios (%)	28	15,75	15,62	14,60	-	-	-	15,32	4,11
Absorção de água por capilaridade (g/cm <sup>2</sup> )	28	Tempo em contato com a água			CP 01	CP 02	CP 03		
		3 horas			0,223	0,238	0,228	0,23	3,33
		6 horas			0,302	0,320	0,304	0,31	3,20
		24 horas			0,663	0,705	0,668	0,68	3,38
		48 horas			1,030	1,089	1,035	1,05	3,11
		72 horas			1,241	1,315	1,235	1,26	3,53
Massa específica am. seca (kg/m <sup>3</sup> )	28	2312	2283	2317	2300	-	-	2303	0,66
Retração hidráulica (%)	3	0,0085	0,0076	0,0081	0,0079	-	-	0,008	4,70
	7	0,0233	0,0238	0,0259	0,0243	-	-	0,024	4,63
	28	0,0451	0,0437	0,0418	0,0402	-	-	0,043	5,03
	56	0,0568	0,0534	0,0562	0,0589	-	-	0,056	4,03
	90	0,0569	0,0534	0,0563	0,0590	-	-	0,056	4,10
	180	0,0570	0,0535	0,0563	0,0591	-	-	0,056	4,10

Mistura contendo 75% de AMRG2T com composição granulométrica NA (75G2NA)									
Ensaio	Idade do CP (dias)	Resultados individuais						Resultado Médio	Coeficiente de variação (%)
		CP 01	CP 02	CP 03	CP 04	CP 05	CP 06		
Resistência à compressão axial (MPa)	3	19,79	20,52	19,67	21,20	20,42	20,10	20,28	2,76
	7	23,05	25,20	24,34	26,42	24,06	23,80	24,48	4,83
	28	29,21	30,38	28,98	28,61	28,46	29,04	29,11	2,34
	90	31,68	30,35	29,65	30,00	32,12	32,09	30,98	3,58
	120	30,25	30,58	31,81	33,05	31,65	31,13	31,41	3,19
Resistência à tração por compressão diametral (MPa)	3	2,28	2,34	2,22	2,36	2,36	2,37	2,32	2,51
	7	2,93	2,75	2,76	2,79	2,83	2,84	2,82	2,31
	28	3,54	3,51	3,44	3,47	3,44	3,26	3,44	2,89
	90	3,48	3,58	3,59	3,42	3,47	3,69	3,54	2,74
	120	3,71	3,57	3,34	3,58	3,55	3,66	3,57	3,58
Resistência à tração na flexão (MPa)	28	4,10	4,02	3,85	-	-	-	3,99	3,20
Módulo de elasticidade (GPa)	28	33,22	31,12	31,85	-	-	-	32,06	3,33
Coeficiente de Poisson	28	0,195	0,210	0,198	-	-	-	0,201	3,95
Absorção de água por imersão (%)	28	6,75	7,05	6,96	-	-	-	6,92	2,22
Índice de vazios (%)	28	15,33	14,82	15,65	-	-	-	15,27	2,74
Absorção de água por capilaridade (g/cm <sup>2</sup> )	28	Tempo em contato com a água			CP 01	CP 02	CP 03		
		3 horas			0,183	0,172	0,180	0,18	3,19
		6 horas			0,264	0,245	0,265	0,26	4,37
		24 horas			0,626	0,593	0,628	0,62	3,19
		48 horas			0,955	0,901	0,952	0,94	3,24
		72 horas			1,198	1,136	1,195	1,18	2,97
Massa específica am. seca (kg/m <sup>3</sup> )	28	2306	2312	2268	2328	-	-	2304	1,10
Retração hidráulica (%)	3	0,0125	0,0118	0,0122	0,0117	-	-	0,012	3,07
	7	0,0298	0,0303	0,0281	0,0286	-	-	0,029	3,50
	28	0,0432	0,0467	0,0455	0,0461	-	-	0,045	3,37
	56	0,0588	0,0564	0,0595	0,0582	-	-	0,058	2,28
	90	0,0589	0,0566	0,0596	0,0584	-	-	0,058	2,20
	180	0,0590	0,0566	0,0597	0,0585	-	-	0,058	2,27



Mistura contendo 100% de AMRG2T com composição granulométrica NA (100G2NA)									
Ensaio	Idade do CP (dias)	Resultados individuais						Resultado Médio	Coeficiente de variação (%)
		CP 01	CP 02	CP 03	CP 04	CP 05	CP 06		
Resistência à compressão axial (MPa)	3	13,51	15,41	15,09	13,79	14,74	14,35	14,48	5,11
	7	20,59	19,68	20,05	20,21	18,96	21,44	20,16	4,16
	28	25,30	26,39	25,38	26,55	25,86	26,17	25,94	2,01
	90	26,70	28,74	27,79	26,29	26,52	28,05	27,35	3,60
	120	28,39	27,83	26,37	27,69	28,07	28,27	27,77	2,65
Resistência à tração por compressão diametral (MPa)	3	2,21	2,15	2,10	2,14	2,25	2,14	2,16	2,57
	7	2,59	2,53	2,70	2,78	2,66	2,80	2,68	3,92
	28	3,14	3,36	3,24	3,16	3,07	3,25	3,20	3,12
	90	3,48	3,44	3,26	3,33	3,16	3,40	3,35	3,61
	120	3,30	3,36	3,27	3,46	3,46	3,44	3,38	2,49
Resistência à tração na flexão (MPa)	28	4,00	3,85	4,20	-	-	-	4,02	4,37
Módulo de elasticidade (GPa)	28	31,76	33,29	32,12	-	-	-	32,39	2,47
Coeficiente de Poisson	28	0,218	0,210	0,200	-	-	-	0,209	4,31
Absorção de água por imersão (%)	28	7,24	6,89	6,50	-	-	-	6,88	5,38
Índice de vazios (%)	28	15,06	14,96	15,65	-	-	-	15,22	2,45
Absorção de água por capilaridade (g/cm <sup>2</sup> )	28	Tempo em contato com a água			CP 01	CP 02	CP 03		
		3 horas			0,150	0,162	0,162	0,16	4,38
		6 horas			0,224	0,235	0,232	0,23	2,47
		24 horas			0,543	0,557	0,562	0,55	1,78
		48 horas			0,850	0,875	0,863	0,86	1,45
		72 horas			1,045	1,073	1,086	1,07	1,96
Massa específica am. seca (kg/m <sup>3</sup> )	28	2277	2342	2315	2288	-	-	2306	1,26
Retração hidráulica (%)	3	0,0155	0,0142	0,0150	0,0153	-	-	0,015	3,81
	7	0,0331	0,0344	0,0366	0,0332	-	-	0,034	4,74
	28	0,0512	0,0504	0,0482	0,0493	-	-	0,050	2,63
	56	0,0615	0,0626	0,0658	0,0631	-	-	0,063	2,89
	90	0,0618	0,0628	0,0659	0,0635	-	-	0,064	2,75
	180	0,0618	0,0629	0,0660	0,0635	-	-	0,064	2,80

Mistura contendo 100% de AMRG2T com composição granulométrica GO (100G2GO)									
Ensaio	Idade do CP (dias)	Resultados individuais						Resultado Médio	Coeficiente de variação (%)
		CP 01	CP 02	CP 03	CP 04	CP 05	CP 06		
Resistência à compressão axial (MPa)	3	18,40	18,05	17,98	18,58	17,14	18,12	18,04	2,76
	7	24,05	23,07	23,64	24,88	23,27	23,59	23,75	2,72
	28	28,06	27,99	28,23	28,81	30,43	28,81	28,72	3,17
	90	31,51	30,80	29,97	30,35	28,94	30,52	30,35	2,84
	120	31,21	29,98	30,84	32,34	30,57	30,34	30,88	2,68
Resistência à tração por compressão diametral (MPa)	3	2,34	2,28	2,24	2,27	2,31	2,35	2,30	1,91
	7	2,86	2,91	2,73	2,86	2,94	2,80	2,85	2,67
	28	3,21	3,52	3,34	3,45	3,24	3,53	3,38	4,12
	90	3,54	3,51	3,40	3,62	3,29	3,61	3,50	3,71
	120	3,52	3,65	3,46	3,39	3,58	3,54	3,52	2,61
Resistência à tração na flexão (MPa)	28	4,14	4,26	3,95	-	-	-	4,12	3,80
Módulo de elasticidade (GPa)	28	33,81	34,14	32,28	-	-	-	33,41	2,97
Coeficiente de Poisson	28	0,211	0,218	0,232	-	-	-	0,220	4,85
Absorção de água por imersão (%)	28	6,95	6,88	6,65	-	-	-	6,83	2,30
Índice de vazios (%)	28	14,81	14,96	15,74	-	-	-	15,17	3,29
Absorção de água por capilaridade (g/cm <sup>2</sup> )	28	Tempo em contato com a água			CP 01	CP 02	CP 03		
		3 horas			0,152	0,143	0,135	0,14	5,93
		6 horas			0,195	0,193	0,181	0,19	3,99
		24 horas			0,515	0,507	0,490	0,50	2,53
		48 horas			0,806	0,812	0,783	0,80	1,91
		72 horas			1,025	1,033	1,005	1,02	1,41
Massa específica am. seca (kg/m <sup>3</sup> )	28	2347	2323	2275	2293	-	-	2310	1,38
Retração hidráulica (%)	3	0,0163	0,0170	0,0176	0,0159	-	-	0,017	4,51
	7	0,0342	0,0352	0,0358	0,0344	-	-	0,035	2,12
	28	0,0521	0,0525	0,0516	0,0509	-	-	0,052	1,33
	56	0,0638	0,0647	0,0633	0,0630	-	-	0,064	1,17
	90	0,0648	0,0655	0,0639	0,0642	-	-	0,065	1,09
	180	0,0650	0,0656	0,0641	0,0642	-	-	0,065	1,10

Mistura contendo 25% de AMRG3T com composição granulométrica NA (25G3NA)									
Ensaio	Idade do CP (dias)	Resultados individuais						Resultado Médio	Coeficiente de variação (%)
		CP 01	CP 02	CP 03	CP 04	CP 05	CP 06		
Resistência à compressão axial (MPa)	3	14,51	14,99	13,92	15,29	14,74	14,87	14,72	3,20
	7	20,66	21,11	21,24	21,19	19,74	20,75	20,78	2,71
	28	25,49	27,02	26,32	27,17	26,55	27,82	26,73	3,00
	90	28,39	28,05	27,20	27,44	28,55	27,79	27,90	1,90
	120	29,07	28,72	27,06	29,27	28,66	28,88	28,61	2,77
Resistência à tração por compressão diametral (MPa)	3	2,11	1,99	2,00	1,99	2,10	2,00	2,03	2,87
	7	2,54	2,59	2,44	2,53	2,48	2,57	2,52	2,27
	28	3,10	3,03	3,06	3,02	3,17	2,92	3,05	2,72
	90	3,14	3,32	3,11	3,13	3,28	3,35	3,22	3,32
	120	3,24	3,27	3,37	3,17	3,27	3,36	3,28	2,36
Resistência à tração na flexão (MPa)	28	3,83	3,56	3,65	-	-	-	3,68	3,74
Módulo de elasticidade (GPa)	28	33,93	35,22	35,41	-	-	-	34,85	2,31
Coeficiente de Poisson	28	0,211	0,198	0,193	-	-	-	0,201	4,63
Absorção de água por imersão (%)	28	7,25	7,08	7,03	-	-	-	7,12	1,62
Índice de vazios (%)	28	16,00	15,42	15,77	-	-	-	15,73	1,86
Absorção de água por capilaridade (g/cm <sup>2</sup> )	28	Tempo em contato com a água			CP 01	CP 02	CP 03		
		3 horas			0,428	0,421	0,418	0,42	1,22
		6 horas			0,546	0,542	0,535	0,54	1,03
		24 horas			0,942	0,935	0,921	0,93	1,15
		48 horas			1,266	1,248	1,227	1,25	1,57
		72 horas			1,465	1,448	1,421	1,44	1,54
Massa específica am. seca (kg/m <sup>3</sup> )	28	2342	2319	2299	2286	-	-	2312	1,06
Retração hidráulica (%)	3	0,0042	0,0039	0,0042	0,0038	-	-	0,004	5,12
	7	0,0182	0,0183	0,0203	0,0198	-	-	0,019	5,53
	28	0,0346	0,0378	0,0350	0,0366	-	-	0,036	4,11
	56	0,0450	0,0454	0,0486	0,0460	-	-	0,046	3,50
	90	0,0451	0,0456	0,0490	0,0463	-	-	0,047	3,74
	180	0,0453	0,0456	0,0491	0,0464	-	-	0,047	3,71

Mistura contendo 50% de AMRG3T com composição granulométrica NA (50G3NA)									
Ensaio	Idade do CP (dias)	Resultados individuais						Resultado Médio	Coeficiente de variação (%)
		CP 01	CP 02	CP 03	CP 04	CP 05	CP 06		
Resistência à compressão axial (MPa)	3	16,04	15,08	15,60	14,85	16,27	15,55	15,56	3,50
	7	23,06	21,33	21,67	22,07	21,51	22,52	22,02	3,01
	28	27,44	26,71	28,05	27,59	26,42	27,32	27,26	2,19
	90	27,55	29,14	28,55	27,58	28,74	29,22	28,46	2,60
	120	29,00	29,86	29,49	29,07	29,32	29,25	29,33	1,06
Resistência à tração por compressão diametral (MPa)	3	2,11	2,21	2,02	2,17	2,08	2,04	2,10	3,43
	7	2,60	2,71	2,66	2,67	2,56	2,61	2,63	2,12
	28	3,16	3,10	3,14	3,08	3,36	3,18	3,17	3,15
	90	3,45	3,35	3,25	3,29	3,27	3,48	3,35	2,91
	120	3,28	3,36	3,39	3,28	3,56	3,53	3,40	3,54
Resistência à tração na flexão (MPa)	28	3,66	3,79	3,71	-	-	-	3,72	1,76
Módulo de elasticidade (GPa)	28	37,72	37,33	36,04	-	-	-	37,03	2,37
Coeficiente de Poisson	28	0,188	0,217	0,205	-	-	-	0,203	7,17
Absorção de água por imersão (%)	28	6,81	7,03	7,50	-	-	-	7,11	4,96
Índice de vazios (%)	28	15,26	16,02	15,79	-	-	-	15,69	2,48
Absorção de água por capilaridade (g/cm <sup>2</sup> )	28	Tempo em contato com a água			CP 01	CP 02	CP 03		
		3 horas			0,372	0,385	0,381	0,38	1,76
		6 horas			0,485	0,510	0,505	0,50	2,65
		24 horas			0,852	0,883	0,875	0,87	1,85
		48 horas			1,105	1,135	1,129	1,12	1,41
		72 horas			1,318	1,364	1,350	1,34	1,75
Massa específica am. seca (kg/m <sup>3</sup> )	28	2310	2388	2288	2309	-	-	2324	1,89
Retração hidráulica (%)	3	0,0052	0,0048	0,0049	0,0051	-	-	0,005	3,65
	7	0,0234	0,0238	0,0249	0,0248	-	-	0,024	3,06
	28	0,0436	0,0428	0,0419	0,0412	-	-	0,042	2,47
	56	0,0525	0,0540	0,0525	0,0547	-	-	0,053	2,07
	90	0,0527	0,0542	0,0525	0,0549	-	-	0,054	2,17
	180	0,0528	0,0543	0,0525	0,0550	-	-	0,054	2,23

Mistura contendo 75% de AMRG3T com composição granulométrica NA (75G3NA)									
Ensaio	Idade do CP (dias)	Resultados individuais						Resultado Médio	Coeficiente de variação (%)
		CP 01	CP 02	CP 03	CP 04	CP 05	CP 06		
Resistência à compressão axial (MPa)	3	16,72	15,56	16,62	16,32	16,39	16,74	16,39	2,70
	7	21,49	23,12	22,29	21,56	22,47	23,66	22,43	3,81
	28	27,99	28,43	28,07	27,53	27,99	26,71	27,79	2,16
	90	29,58	29,14	27,95	29,16	29,81	30,02	29,28	2,52
	120	30,09	29,46	29,17	29,77	30,69	29,03	29,70	2,08
Resistência à tração por compressão diametral (MPa)	3	2,08	2,13	2,23	2,15	2,18	2,25	2,17	2,85
	7	2,72	2,67	2,63	2,75	2,62	2,69	2,68	1,88
	28	3,24	3,30	3,14	3,16	3,14	3,43	3,23	3,54
	90	3,46	3,23	3,38	3,39	3,43	3,52	3,40	2,88
	120	3,58	3,51	3,35	3,45	3,50	3,37	3,46	2,55
Resistência à tração na flexão (MPa)	28	3,69	3,65	3,90	-	-	-	3,75	3,58
Módulo de elasticidade (GPa)	28	38,01	36,83	38,53	-	-	-	37,79	2,31
Coeficiente de Poisson	28	0,220	0,208	0,210	-	-	-	0,213	3,02
Absorção de água por imersão (%)	28	6,86	7,09	7,25	-	-	-	7,07	2,77
Índice de vazios (%)	28	14,93	15,90	16,00	-	-	-	15,61	3,79
Absorção de água por capilaridade (g/cm <sup>2</sup> )	28	Tempo em contato com a água			CP 01	CP 02	CP 03		
		3 horas			0,352	0,342	0,332	0,34	2,92
		6 horas			0,465	0,453	0,438	0,45	2,99
		24 horas			0,848	0,838	0,815	0,83	2,03
		48 horas			1,105	1,092	1,035	1,08	3,46
		72 horas			1,310	1,303	1,255	1,29	2,32
Massa específica am. seca (kg/m <sup>3</sup> )	28	2335	2412	2309	2282	-	-	2335	2,40
Retração hidráulica (%)	3	0,0092	0,0087	0,0093	0,0088	-	-	0,009	3,27
	7	0,0255	0,0263	0,0289	0,0275	-	-	0,027	5,48
	28	0,0448	0,0473	0,0467	0,0465	-	-	0,046	2,31
	56	0,0592	0,0581	0,0567	0,0559	-	-	0,057	2,55
	90	0,0600	0,0590	0,0580	0,0572	-	-	0,059	2,08
	180	0,0600	0,0592	0,0583	0,0574	-	-	0,059	1,91

Mistura contendo 100% de AMRG3T com composição granulométrica NA (100G3NA)									
Ensaio	Idade do CP (dias)	Resultados individuais						Resultado Médio	Coeficiente de variação (%)
		CP 01	CP 02	CP 03	CP 04	CP 05	CP 06		
Resistência à compressão axial (MPa)	3	17,32	17,66	18,03	16,81	17,53	16,81	17,36	2,80
	7	23,24	23,43	22,52	22,93	23,49	22,63	23,04	1,78
	28	28,48	29,74	26,88	28,20	27,86	28,76	28,32	3,37
	90	30,00	29,07	29,50	30,91	28,13	29,78	29,56	3,16
	120	29,53	30,85	31,26	30,00	29,59	30,16	30,23	2,29
Resistência à tração por compressão diametral (MPa)	3	2,23	2,18	2,25	2,28	2,19	2,22	2,22	1,68
	7	2,83	2,76	2,84	2,75	2,62	2,83	2,77	3,04
	28	3,38	3,42	3,37	3,28	3,36	3,46	3,38	1,87
	90	3,51	3,63	3,37	3,58	3,38	3,52	3,50	3,00
	120	3,45	3,62	3,51	3,61	3,48	3,63	3,55	2,26
Resistência à tração na flexão (MPa)	28	3,88	3,72	3,78	-	-	-	3,79	2,13
Módulo de elasticidade (GPa)	28	37,15	38,94	39,33	-	-	-	38,47	3,02
Coeficiente de Poisson	28	0,205	0,220	0,225	-	-	-	0,217	4,80
Absorção de água por imersão (%)	28	7,22	7,04	6,83	-	-	-	7,03	2,78
Índice de vazios (%)	28	15,79	15,33	15,44	-	-	-	15,52	1,55
Absorção de água por capilaridade (g/cm <sup>2</sup> )	28	Tempo em contato com a água			CP 01	CP 02	CP 03		
		3 horas			0,293	0,275	0,298	0,29	4,19
		6 horas			0,415	0,396	0,422	0,41	3,27
		24 horas			0,809	0,782	0,818	0,80	2,33
		48 horas			1,073	1,045	1,092	1,07	2,21
		72 horas			1,255	1,222	1,255	1,24	1,53
Massa específica am. seca (kg/m <sup>3</sup> )	28	2389	2332	2336	2332	-	-	2347	1,19
Retração hidráulica (%)	3	0,0126	0,0124	0,0116	0,0122	-	-	0,012	3,54
	7	0,0272	0,0276	0,0289	0,0285	-	-	0,028	2,80
	28	0,0484	0,0481	0,0462	0,0452	-	-	0,047	3,26
	56	0,0621	0,0593	0,0591	0,0614	-	-	0,060	2,48
	90	0,0623	0,0594	0,0594	0,0618	-	-	0,061	2,54
	180	0,0623	0,0598	0,0595	0,0620	-	-	0,061	2,39

Mistura contendo 100% de AMRG3T com composição granulométrica GO (100G3GO)									
Ensaio	Idade do CP (dias)	Resultados individuais						Resultado Médio	Coeficiente de variação (%)
		CP 01	CP 02	CP 03	CP 04	CP 05	CP 06		
Resistência à compressão axial (MPa)	3	18,04	16,56	17,69	18,14	18,95	17,74	17,85	4,35
	7	24,24	23,62	23,99	22,87	23,38	25,59	23,95	3,91
	28	28,41	29,54	29,16	28,75	30,42	30,83	29,52	3,21
	90	30,84	29,45	29,88	30,32	30,18	31,63	30,38	2,52
	120	31,22	32,39	30,12	29,86	30,47	30,32	30,73	3,04
Resistência à tração por compressão diametral (MPa)	3	2,34	2,35	2,26	2,35	2,44	2,47	2,37	3,12
	7	2,85	2,80	3,15	2,92	2,97	3,07	2,96	4,49
	28	3,62	3,64	3,70	3,42	3,51	3,74	3,60	3,31
	90	3,63	3,78	3,52	3,80	3,76	3,65	3,69	2,93
	120	3,83	3,74	3,79	3,83	3,67	3,46	3,72	3,74
Resistência à tração na flexão (MPa)	28	4,00	3,76	3,75	-	-	-	3,88	3,65
Módulo de elasticidade (GPa)	28	39,25	40,77	38,07	-	-	-	39,36	3,44
Coeficiente de Poisson	28	0,225	0,240	0,229	-	-	-	0,231	3,36
Absorção de água por imersão (%)	28	6,85	7,17	6,98	-	-	-	7,00	2,30
Índice de vazios (%)	28	15,86	15,44	15,13	-	-	-	15,48	2,37
Absorção de água por capilaridade (g/cm <sup>2</sup> )	28	Tempo em contato com a água			CP 01	CP 02	CP 03		
		3 horas			0,242	0,235	0,231	0,24	2,36
		6 horas			0,354	0,348	0,338	0,35	2,33
		24 horas			0,777	0,752	0,755	0,76	1,79
		48 horas			1,052	1,022	1,027	1,03	1,55
		72 horas			1,245	1,210	1,218	1,22	1,50
Massa específica am. seca (kg/m <sup>3</sup> )	28	2365	2343	2331	2378	-	-	2354	0,90
Retração hidráulica (%)	3	0,0115	0,0125	0,0120	0,0121	-	-	0,012	3,42
	7	0,0289	0,0313	0,0305	0,0310	-	-	0,030	3,51
	28	0,0481	0,0488	0,0482	0,0495	-	-	0,049	1,33
	56	0,0622	0,0610	0,0619	0,0628	-	-	0,062	1,21
	90	0,0623	0,0611	0,0621	0,0630	-	-	0,062	1,26
	180	0,0623	0,0611	0,0622	0,0631	-	-	0,062	1,32

<b>ENSAIO DE REATIVIDADE ÁLCALI-AGREGADO EM BARRAS DE ARGAMASSA CONTENDO 100% DE AMRG T</b>						
		Expansões (%)				Coeficiente de variação (%)
Tipo de agregado	Idade do CP (dias)	CP 01	CP 02	CP 03	Média	
AMRG1T	4	0,012	0,008	0,009	0,010	21,53
	8	0,014	0,012	0,016	0,014	14,29
	14	0,024	0,018	0,019	0,020	15,81
	16	0,026	0,020	0,021	0,022	14,39
	21	0,033	0,025	0,026	0,028	15,57
	24	0,034	0,032	0,036	0,034	5,88
	28	0,043	0,036	0,038	0,039	9,25
	30	0,044	0,038	0,043	0,042	7,71
AMRG2T	4	0,004	0,003	0,004	0,004	15,75
	8	0,006	0,006	0,007	0,006	9,12
	14	0,013	0,014	0,014	0,014	4,22
	16	0,016	0,018	0,020	0,018	11,11
	21	0,026	0,026	0,024	0,025	4,56
	24	0,039	0,035	0,035	0,036	6,36
	28	0,041	0,039	0,038	0,039	3,88
	30	0,044	0,042	0,042	0,043	2,71
AMRG3T	4	0,001	0,001	0,001	0,001	0,00
	8	0,006	0,006	0,008	0,007	17,32
	14	0,013	0,014	0,017	0,015	14,19
	16	0,018	0,021	0,023	0,021	12,18
	21	0,021	0,025	0,026	0,024	11,02
	24	0,023	0,027	0,029	0,026	11,60
	28	0,034	0,036	0,037	0,036	4,28
	30	0,037	0,038	0,040	0,038	3,98